

Diplomová práce

Konstrukční návrh nýtovacího zařízení

Design of riveting equipment

Jméno autora: Bc. Jan Dokoupil

Rok odevzdání: 2021

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta materiálově-technologická
Katedra materiálů a technologií pro automobily

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Jan Dokoupil

Studijní program: N0715A270004 Materiály a technologie pro automobilový průmysl

Téma:

Konstrukční návrh nýtovacího zařízení
Design of riveting equipment

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do technologie nýtování v automotive.
2. Nýtovací zařízení pro poloduté nýty.
3. Návrh aplikace nýtování polodutými nýty a ověření konstrukčního návrhu.
4. Vyhodnocení a závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] DANĚK, Otakar a Nikolaj Markovič GORBATOV. Nýtování v letectví a v podobné výrobě: Příručka pro praxi a pro odborné školení. Praha: Práce, 1951.
- [2] Ajax Rivets Handbook, Issue 99, Braeside Victoria: Ajax Cooke Pty. Ltd., 1999
- [3] ČERMÁKOVÁ, Adriana. Ověření technologií lepení pro hliníkové slitiny[online]. Ostrava, 2017 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/119487>. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [4] BRATKOVÁ, O. N. Technologie strojírenské výroby. Díl I, Montáž strojů, svařování, nýtování. Praha: Průmyslové vydavatelství, 1952.
- [5] BERKA, Štěpán. Elektrotechnická schémata a zapojení. 1, Základní prvky a obvody. Praha: BEN - technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-229-9.
- [6] Riveting Systems - Custom Riveting Equipment | TOX® PRESSOTECHNIK. (2020). (©TOX® PRESSOTECHNIK GmbH & Co.KG) Získáno 1. 10. 2020, z ©TOX® PRESSOTECHNIK: <https://us.tox-pressotechnik.com/applications/riveting-joining/riveting-systems/>

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Radim Trojan, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2020

Datum odevzdání: 23.04.2021

doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Poděkování

Děkuji panu Ing. Radim Trojan, Ph.D. za vedení a věcné připomínky k mé diplomové práci. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Miroslavu Suchánkovi za pomoc při simulacích. V neposlední řadě patří dík mé rodině a přátelům za podporu během celého studia.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem nýtovacích kleští, které budou použity pro nýtování polodutými nýty. Je proveden rozbor aktuální situace používání nýtování v automotive. Zpracována řešerše nejmodernějších metod spojování automobilových konstrukcí za studena a obecný popis nýtování polodutými nýty. Zprovoznění mechanismu pneumaticko-hydraulického válce pro nýtování. Vypracován návrh konstrukce nýtovacích kleští a ověření jeho tuhosti. Výroba zkušebních vzorků ze slitiny hliníku, které byly využity jako vzorky pro pevnostní analýzu.

Klíčová slova

Nýtování, polodutý nýt, nýtovací kleště, pneumaticko-hydraulický válec

Abstract

This diploma thesis deals with construction proposal of the rivet tongs to be used and tested for riveting by semi-hollow rivets. In this theses the current situation of rivet usage in automotive industry is described. The research of the top modern methods related to cold connecting of the car body and the general description of the riveting by semi-hollow rivets are presented as well. After that the device based on pneumo-hydraulic cylinder used for riveting was put into operation. Next step was to propose the rivet tongs construction and also to verificate the toughness of the tongs. The samples from aluminium alloy were prepared and their strength characteristic was tested.

Key words

Riveting, semi-hollow rivet, rivet tongs, pneumo-hydraulic cylinder

Obsah

Úvod	1
1 Úvod do problematiky nýtování v automotive	2
1.1 Trendy spojování dílů v automotive	4
1.1.1 Rivtac	4
1.1.2 Quick Flow	6
1.1.3 Clinching	8
1.1.4 Nýtování plnými lisovacími nýty	11
1.1.5 ClinchRivet	14
1.2 Nýtování polodutými nýty	17
1.2.1 Materiál a typ nýtu	18
1.2.2 Proces tvorby spojení	19
1.2.3 Použití polodutých nýtů	21
1.3 Srovnání metod spojování	22
2 Nýtovací zařízení pro poloduté nýty	24
2.1 Kleště rámu typu C	25
2.1.1 Ruční kleště	26
2.1.2 Robotické kleště	29
2.2 Nástroje pro poloduté nýty	30
2.2.1 Matrice	31
2.2.2 Razník	33
2.3 Pneumaticko-hydraulický pohon	34
2.3.1 Konstrukce pneumaticko-hydraulického válce	35
2.3.2 Princip provozu	36
2.3.3 Vzduch a hydraulický olej vhodný pro provoz	40
2.4 Zprovoznění pneumaticko-hydraulického válce	40
2.4.1 Distributor vzduchu	42
2.4.2 Elektromagnetický ventil přívodu vzduchu	43
2.4.3 Hydrosplit spojka	44
2.4.4 Pracovní hydraulický válec HZL	45
2.4.5 Propojovací vysokotlaká hadice	47
2.4.6 Kontrolní ventil tlaku	48
2.4.7 Škrťací ventil X	49
2.4.8 Indikátor hladiny oleje	49
2.4.9 Spojení všech prvků zařízení	50

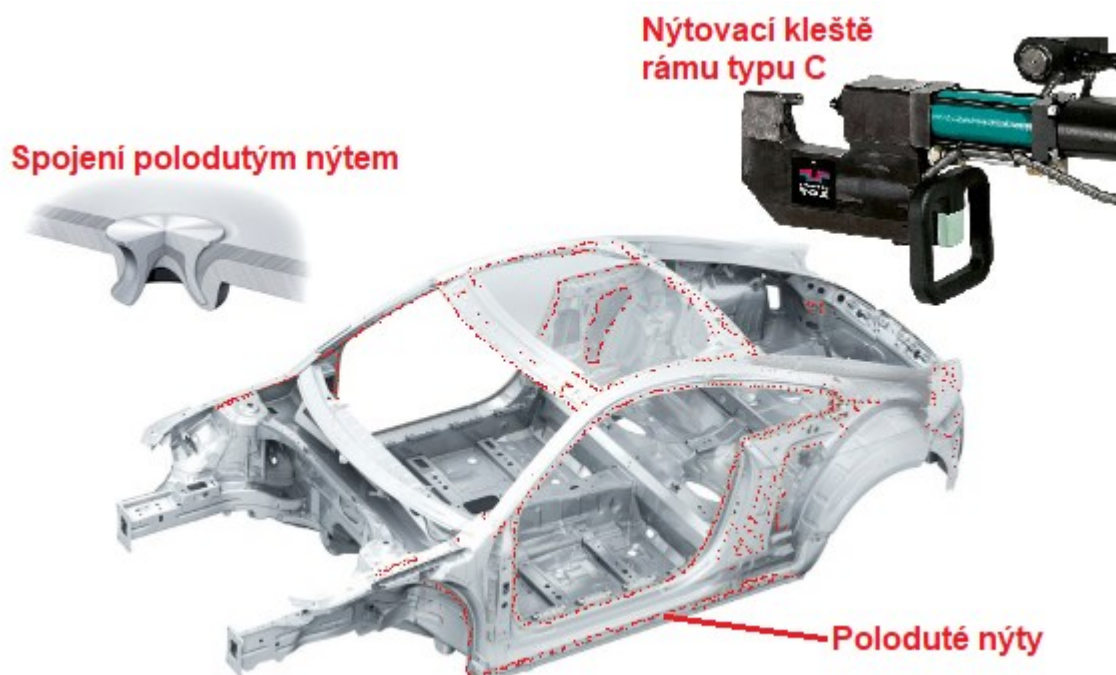
2.4.10	Diagram zapojení.....	51
2.5	Návrh nýtovacích kleští.....	51
2.5.1	Ověření tuhosti C-rámu nýtovacích kleští.....	57
2.6	Výroba nýtovacích kleští.....	72
3	Návrh aplikace nýtování polodutými nýty a ověření konstrukčního návrhu.....	75
3.1	Kompletní sestavení nýtovacího zařízení.....	75
3.2	Příprava zkušebních vzorků	77
3.3	Zkouška ve smyku.....	81
3.3.1	Výsledky zkoušky ve smyku pro vzorky vytvořené lisovací silou 50 kN.....	83
3.3.2	Výsledky zkoušky ve smyku pro vzorky vytvořené lisovací silou 53,4 kN.....	85
3.3.3	Srovnání výsledků s reportem od firmy TOX	87
4	Vyhodnocení a závěr	88
	Seznam použité literatury	90
	Seznam Obrázků.....	95
	Seznam Tabulek	99
	Seznam Příloh.....	100

Úvod

Metody spojování materiálu jsou v dnešní době čím dál více diskutovaným tématem. Progresivní metody spojování materiálu můžeme dnes nalézt v automobilovém, leteckém či stavebním průmyslu ale i v mnoha dalších. Hlavní důraz je kladen na ekonomii, kde můžeme zahrnout úsporu materiálu, snížení energetických nákladů, cenu technologie a čas, ale zároveň na zachování kvality spoje, a v neposlední řadě na ekologii. Konkrétně v automobilovém průmyslu je velmi kladen důraz na snižování emisních limitů, s čímž souvisí snižování hmotnosti automobilu, a tedy hledání cest k co nejlehčím spojům karoserie. [1,2]

Tato práce se zabývá technologií nýtování polodutými nýty a nástrojem, kterým je spoj vytvořen. Nýtováním vzniká nerozebíratelné spojení dvou a více materiálů za pomoci plastické deformace. Mezi hlavní výhody můžeme uvést jednoduchost spoje, rychlost a eliminace tepelně ovlivněné oblasti. Také je ale nutno poukázat na hlavní nevýhody, kde patří především nerozebíratelnost spoje.

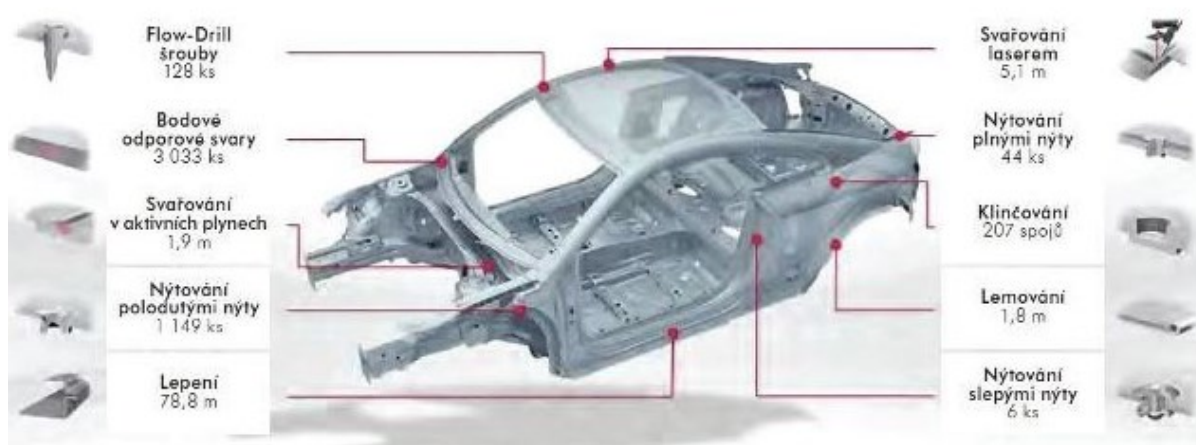
Na (**Obrázek 1**) lze vidět karoserii vozidla Audi TT, která je spojena pomocí polodutých nýtů (červené body). Spoj je vytvořen za pomoci pneumatického nýtovacího zařízení a rámem typu C. Vytvořit takový nástroj je cílem diplomové práce.



Obrázek 1 Nýtovaná karoserie vozidla [27]

1 Úvod do problematiky nýtování v automotive.

Nýtování je v automotive stále více používaná metoda spojování. Nýtováním vznikne nerozebíratelné spojení dvou či více materiálů za pomoci plastické deformace nýtu. Dřík nýtu vyplní otvor v materiálech a hlava zajistí jejich stažení. Nýt tak svírá dva materiály a díky tření mezi nimi nedochází k jejich pohybu. Pokud jde o spoj se silovým stykem tak se stříhové napětí přenáší na tření mezi materiály a samotný nýt je pak namáhaný méně. Jedná-li se o tvarový styk tak se stříhové zatížení ve spoji přenáší přes nýt. Například na voze Audi TT (**Obrázek 2**) je použito na spojení karoserie 1 149 kusů polodutých nýtů. Ve větší míře je na karoserii využito jen bodové svařování, kde je použito 3033 svárů. Dále se můžeme setkat s plnými nýty (44 kusů), slepými nýty (6 kusů), klinčovanými spoji (207 spojů), lemováním (1,8 m), lepením (78,8 m), svařováním a dalšími již málo využívanými technologiemi. Spojování nýtováním je jednoduché a rychlé. Navíc za použití polodutých nýtu, dochází ke snížení hmotnosti karoserie, a tím snížení spotřeby pohonných hmot, jenž souvisejí se snížením emisních hodnot automobilu. [1,2]

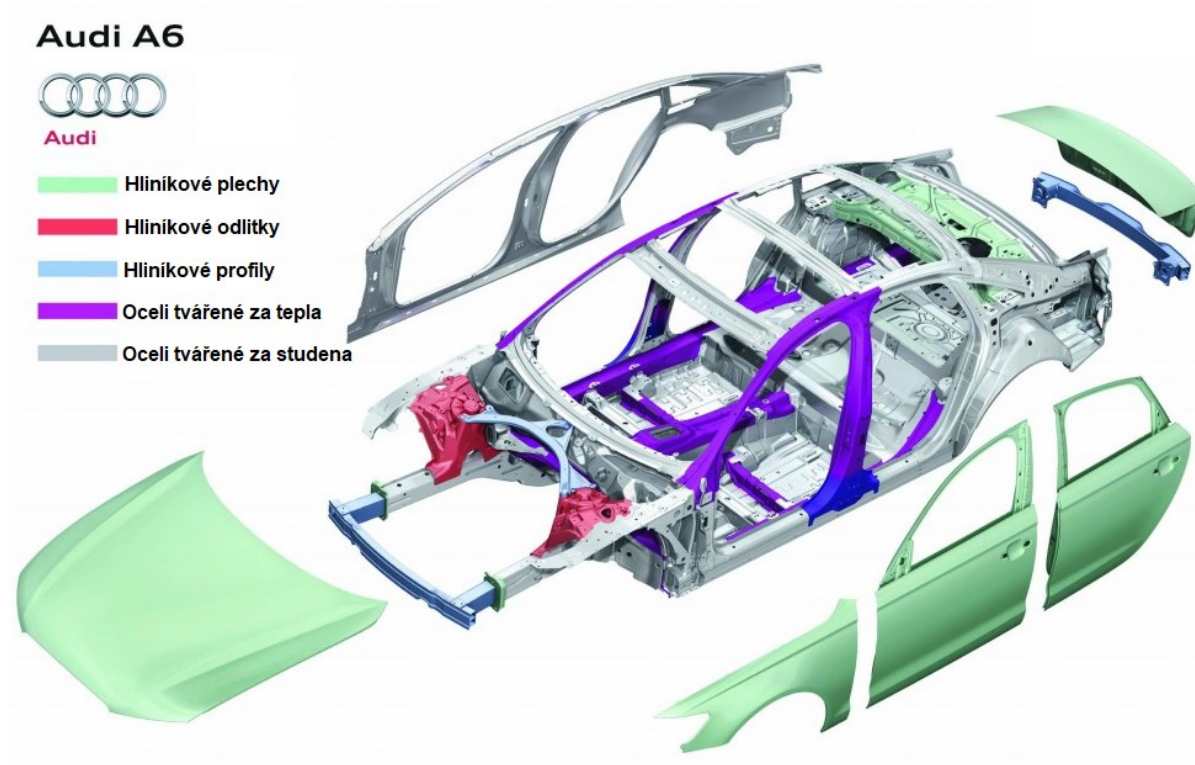


Obrázek 2 Druhy a typy spojů karoserie na Audi TT 3. generace, převzato [2]

Jako vhodné řešení, jak snížit hmotnost, a tedy i emisní limity, je materiálová substituce stavebních skupin karoserie za pomoci smíšených kovových konstrukcí. Lze uvést příklad karoserie AUDI A6 (**Obrázek 3**), kde lze vidět mimo ocelí tvářitelných za studena a za tepla i vysoké zastoupení hliníkových plechů. Pro kovově odlišné konstrukce musí být vhodně zvolen spojovací mechanismus. Aplikací polodutého nýtování je možno spojovat různorodé

materiály, což je dnes nutností. Je nutné, aby pevnost spoje zůstala zachována nebo v ideálnějším případě byla vylepšena. [1,2,3]

Dnešní materiály, které je možno používat v oblasti karoserií jsou na bázi ocelí, hliníků, plastů a kompozitů viz (**Obrázek 3**). Každý materiál má svou tvářitelnost, obrobitelnost, odlišné požadavky na technologičnost konstrukce, jiné mechanické vlastnosti a odlišné chování. Vhodný výběr materiálu, z jakého se bude karoserie tvořit, je tedy zásadní. Bodové svařování, které je nejběžnější používanou technikou spojování ocelových plechů, není vhodné pro spojování tenkých hliníkových plechů, slitin mědi a dalších neželezných kovů. Následkem toho se v automobilovém průmyslu objevuje rostoucí zájem o vývoj nových spojovacích technologií, které nahradí bodové svařování. Náhradou bodového svařování jinou technologií nesmí dojít ke snížení pevnosti spoje. Nejdůležitějšími faktory při vývoji karoserie je zachovat bezpečnost posádky i bezpečnost chodců, vytvářet inovativní elektronické systémy, redukovat hmotnosti vozidla, snižovat emise a v neposlední řadě zachovat nebo snížit peněžní náklady na výrobu. [1,2]



Obrázek 3 Materiálové složení konstrukčních prvků karoserie Audi A6, převzato [2]

1.1 Trendy spojování dílů v automotive

Trendové technologie jsou založeny na plastické deformaci. Tyto technologie se hojně využívají při spojování automobilových karosérií. Obecně jsou technologie s využitím plastické deformace velice produktivní a vyznačují se nízkou energetickou náročností, a proto jsou v automotive stále více využívány (clinchng a self-pierce riveting, vysvětleno níže). Řada nových technologií nevyžaduje přístup z obou stran spoje a není nutná operace předděrování (Rivtac a QuickFlow, vysvětleno níže), čímž se mohou snížit výrobní náklady a časová náročnost. Mnohdy se technologie kombinují například s lepením. Nové spojovací technologie musí být vhodné k automatizaci ve velkosériové výrobě. V automobilovém průmyslu jsou lehké karoserie sestaveny z inovativních materiálů, které je obtížné nebo nemožné svařovat. Proto většina nových technologií cílí k nahrazení bodového svařování. Jak již bylo řečeno výše, je nutno použít správnou technologii, protože rozmanitost použitých materiálů je veliká, a proto si žádá širokou škálu výrobních procesů, aby se zachovaly mechanické vlastnosti spoje. [2,3,4]

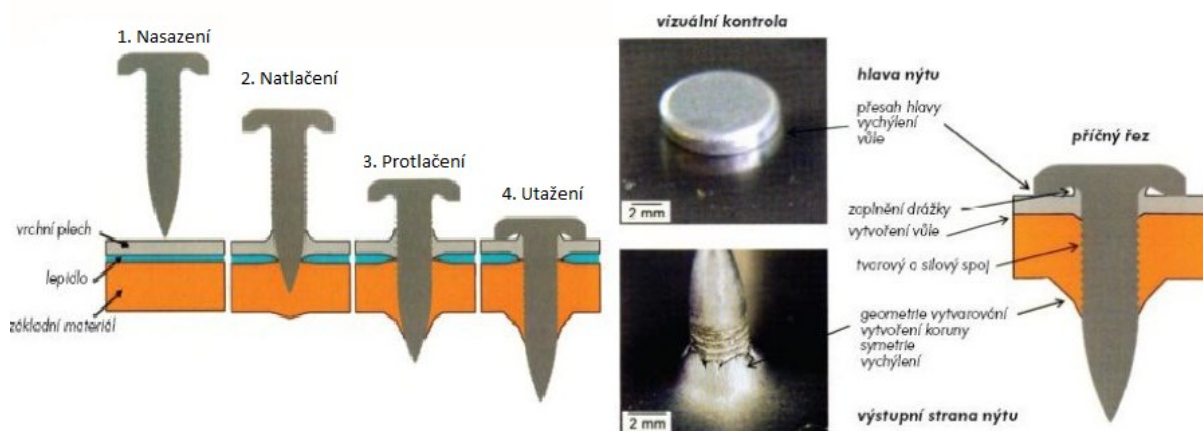
1.1.1 Rivtac

Jedná se o technologii spojování materiálů za studena, za pomoci vysokorychlostního nastřelování od německé firmy Böllhoff. energii potřebnou k nastřelení nýtu zajišťuje pneumatický válec. Rychlost vytvoření jednoho spoje se mění v závislosti na tloušťce materiálu od 0,7 do 1,2 vteřiny na spoj. Spojovací díl se podobá hřebíku, který je vysokou rychlostí zaražen do spojovaných dílů. Metodu je možno využít u různých jakostí materiálů a může být současně využita s lepením jako hybridní spoj. Okamžitý nárůst teploty ve spojovací zóně způsobí lepší tekutost lepidla, které se následně posune do drážek spojovacího hřebíku. Není potřeba materiál děrovat před samotným nastřelením a postačí tak přístup pouze z jedné strany. [11]

Mezi hlavní výhody lze zahrnout nepotřeba předvrtávat otvory, stačí přístup z jedné strany, vhodné pro spojování odlišných materiálů (např. ocel a hliník, hliník a kompozit), spoj se dá opticky zkontrolovat, není potřeba odsávat výpary (ekologičnost), vysoce reprodukovatelný.

Postup tvorby spoje je zobrazen na (**Obrázek 4**). V první fázi je hřebík nasazen na pozici, ve druhé fázi dochází k natlačení hrotu hřebíku do materiálu, ve třetí fázi je hřebík protlačen materiálem a čtvrtá fáze je pak utahovací. Na dokončeném spoji ve fázi 4 lze vidět, že hlava a hrot hřebíku leží na venkovních stranách spoje. Strana hlavy vypadá vzhledně bez zřejmých ostrých hran, avšak není ponořena v spojovaném materiálu, což může být nevýhodou. Strana

s hrotem již vypadá hůře, jde zde nalézt otřepky a ostrá místa, navíc trčí hrot hřebíku. Ostrá místa a hrot mohou být nebezpečná a vést tak k úrazu.



Obrázek 4 Rivtac – tvorba spoje, převzato [13]

Využívá se zejména pro spoje z hliníku, oceli, plastů, neželezných kovů a také pro smíšené spoje do tloušťky 6 mm. Použití v místech, kde není možný přístup z obou stran. Můžeme se s ním setkat u karoserií automobilu, kde se používá ke spojování plechů, jechlů a dalších profilů.

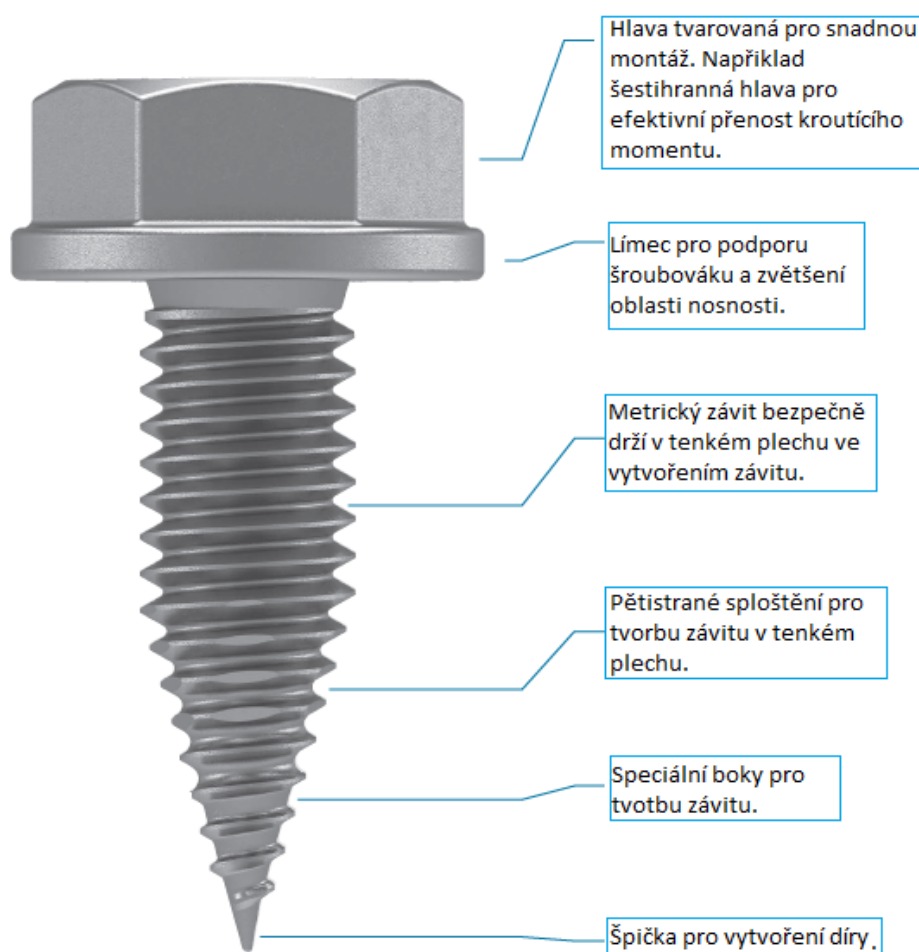
Na (**Obrázek 5**) je vidět tenký plech spojený s jeklem pomocí RIVTAC. Tento případ je nejideálnějším využitím RIVTACu, protože není nutný přístup z obou stran, a navíc je hrot hřebíku schován uvnitř jeklu.



Obrázek 5 Rivtac spoj, převzato [13]

1.1.2 Quick Flow

Je technologie založená na tvarovacích šroubech od firmy Böllhoff. Speciální šroub a jeho popis je na (**Obrázek 6**). Díky robustní spirálové špičce můžeme šroub upevnit, aniž by bylo nutné předvrtat otvor do spodní vrstvy spoje. Geometrie hrotu šroubu umožní vytvořit otvor do tenkého plechu. Zároveň je za pomoci speciálních boků vytvořen metrický závit, který je možno opakovaně použít (s opakováním klesá pevnost spoje). Šroub může mít taktéž límec pro zvětšení oblasti nosnosti. Hlavy šroubu mohou být různé, avšak k nejvyužívanější patří šestihránná hlava pro efektivní přenos krotícího momentu. Quick flow lze také kombinovat s lepením. Technologie je vhodná pro širokou škálu materiálů například hliník, ocel, nerez a jejich kombinace jako například hliník a ocel. [15, 16]

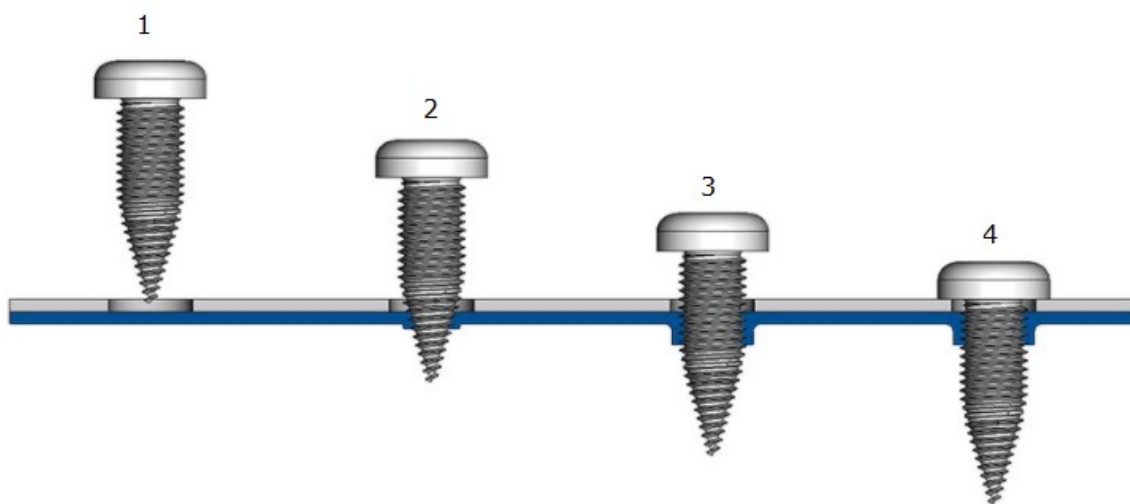


Obrázek 6 Quick Flow šroub, převzato [15]

Mezi hlavní výhody Quick-Flow patří, nepotřeba předvrtávat díry do spodní vrstvy spoje, dokáže formovat metrický závit, stačí přístup z jedné strany, nevyžaduje žádné další spojovací

prvky např. matici. Výhodou oproti metodě RIVAC je to, že je spojení možno rozebírat (ovšem za ztráty pevnosti).

Tvorba spoje je zachycena na (**Obrázek 7**). V první fázi je přiložen šroub, ve druhé fázi dochází díky spirálové špici k tvorbě díry, ve třetí fázi dochází k formování metrického závitu, a nakonec ve čtvrté fázi dojde k utažení spoje. Jako u předchozí technologie lze při pohledu na vytvořený spoj (**Obrázek 7**, fáze 4) vidět, že hlava šroubu i hrot zůstává trčet ven z materiálu. Tak jako u předchozí technologie může být hlava a hrot šroubu limitující při další manipulaci se spojeným materiálem a při nešetrném zacházení může dojít o poranění o hrot šroubu. Pokud však bude hrot uvnitř profilu, toto riziko odpadá.



Obrázek 7 Quick Flow – tvorba spoje, převzato [16]

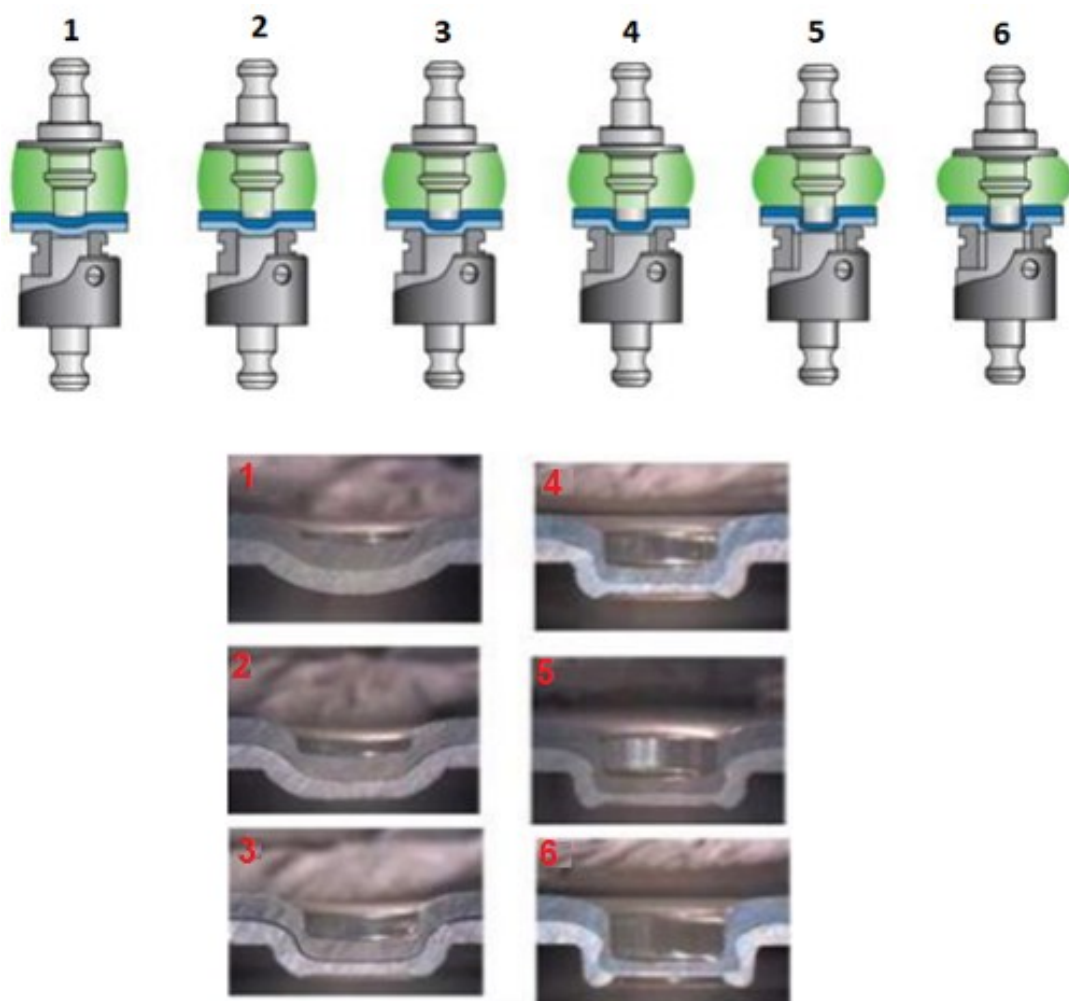
Hojné využití je v automobilovém průmyslu, kde jsou za pomoci těchto šroubů připevněny tenké plechy k jeklům či jiným profilům. Další možné využití je spojování klimatizačních a ventilačních systémů. Technologie je vhodná pro automatizaci, díky ní je možno dosáhnout krátkých dob cyklů (do 2 vteřin). [15,16]

1.1.3 Clinching

Jednoduchá spojovací technika bez dalších přídavných prvků a bez použití tepla. Jedná se o spojování materiálů za studena. Vzniká knoflíkové spojení dvou nebo tří vrstev plechů. Clinching proces je kombinací tažení a tváření, který umožňuje spojit plechy do celkové tloušťky až 18 mm. Spoj je ekonomicky výhodný tím, že není potřeba zvýšená teplota nebo přídavný prvek (oproti bodovému svařování nebo nýtování). Mezi materiály, které budou spojeny clinchováním, lze vkládat lepidla, fólie či tlumící materiály. [12]

Hlavními výhodami jsou zejména nízké provozní náklady, dynamická pevnost spoje (vyšší než u bodového svařování), lze spojovat povrchově upravené materiály bez porušení povrchové vrstvy, v místě spoje dochází ke zpevnění materiálu. Vysoká odolnost vůči korozi, chvění a otřesům. Jedná se o velice energeticky výhodný způsob spojování dvou a více materiálů. Proces je také velice ekologický a není při něm potřeba odvětrávání pracovního prostoru.

Proces spojování viz (Obrázek 8). Na horní spojovaný materiál působí razník tlakovou silou a v důsledku tohoto tlaku dochází k zatečení vrchního materiálu do spodního (na obrázku kroky 1,2,3). Vlivem rostoucího tlaku dochází k vyplnění dutiny matrice materiálem (na obrázku krok 4,5,6). Díky tvaru matrice dojde ke spojení materiálů. Výsledkem je kruhový protlačený nerozebíratelný spoj bez hran a otřepů. Nedochází k prostřížení ani k porušení povrchové vrstvy materiálu. Proces spoje se již podobá spojování polodutým nýtem s tím rozdílem, že u clinchování není potřeba onen nýt a nedochází k přestřížení žádného spojovaného materiálu. Avšak dojde ke vzniku dutiny z jedné strany a knoflíku ze strany druhé, kdežto u nýtování polodutým nýtem zůstává jedna strana téměř rovná a druhá strana spoje je s malým výmolem.



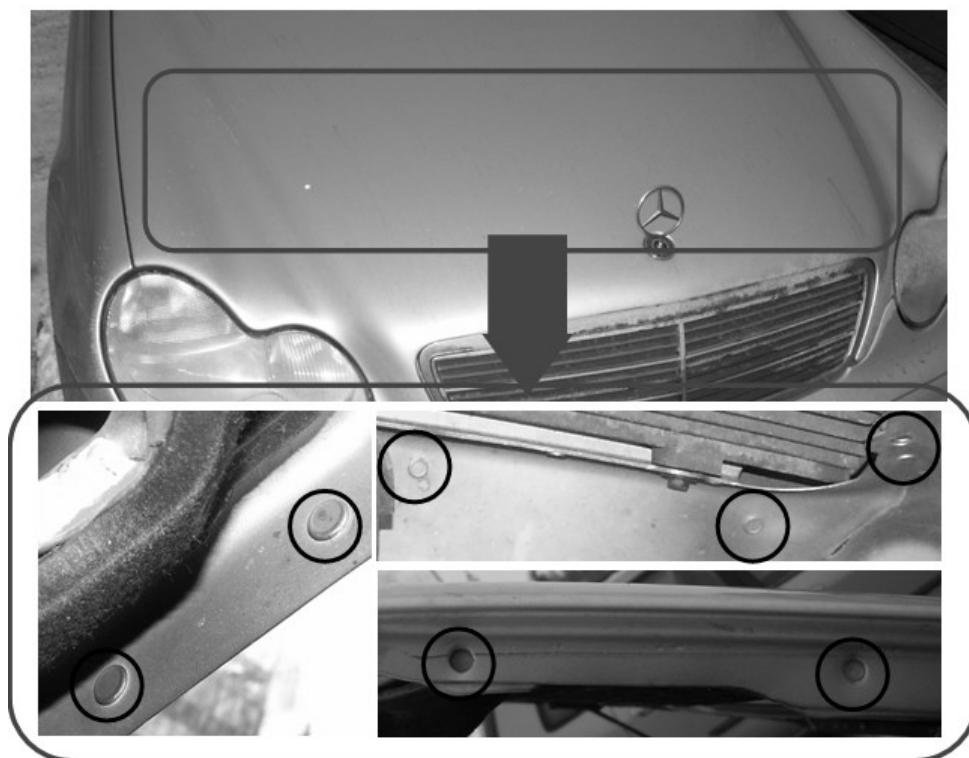
Obrázek 8 Proces tvorby clinchovaného spoje a jeho reálná podoba v průběhu, převzato [31]

Na (**Obrázek 9**) jsou zachyceny hotové spoje. Na jedné straně spoje vznikají dutiny, na druhé straně lze pak najít výstupek tvaru knoflíku. Tyto knoflíkovité útvary mohou být nevýhodou tohoto spojení, jelikož mohou při další aplikaci (manipulaci) překážet. Oproti předchozím technologiím již netrčí žádný hrot ze spoje, který může být důvodem úrazu. [12,31]



Obrázek 9 Clinchovaný spoj z obou stran, převzato [31]

Využití clinchování má svůj nezastupitelný v automobilovém průmyslu, kde se díly vyrábí kombinací materiálů. Jako příklady lze uvést části karoserie, jako jsou např.: přední a zadní víka, stahovací střechy, dveře nebo části interiérů (sedačky, stahování oken atd.). Na (**Obrázek 10**) lze sledovat clinchované spoje na kapotě vozidla a okolo chladiče. Další oblast použití u bílých elektrospotřebičů. Příkladem mohou být skříně lednic, praček a dalších domácích spotřebičů. [12, 32]



Obrázek 10 Clinchované spoje na vozidle Mercedes, převzato [29]

1.1.4 Nýtování plnými lisovacími nýty

Nýtovat plným lisovacím nýtem, znamená prostříhnout a spojit materiál v jednom kroku. Nýt prostříhne oba plechy, přitom se sám deformuje jen minimálně a tvoří spojovací prvek. Tato technologie se využívá, je-li kladen důraz na vysokou pevnost spojů, u obtížné kombinace materiálů a při velkých rozdílech tloušťek plechů. Dále je možno spojovat různé typy profilů nebo odlitků. [10]

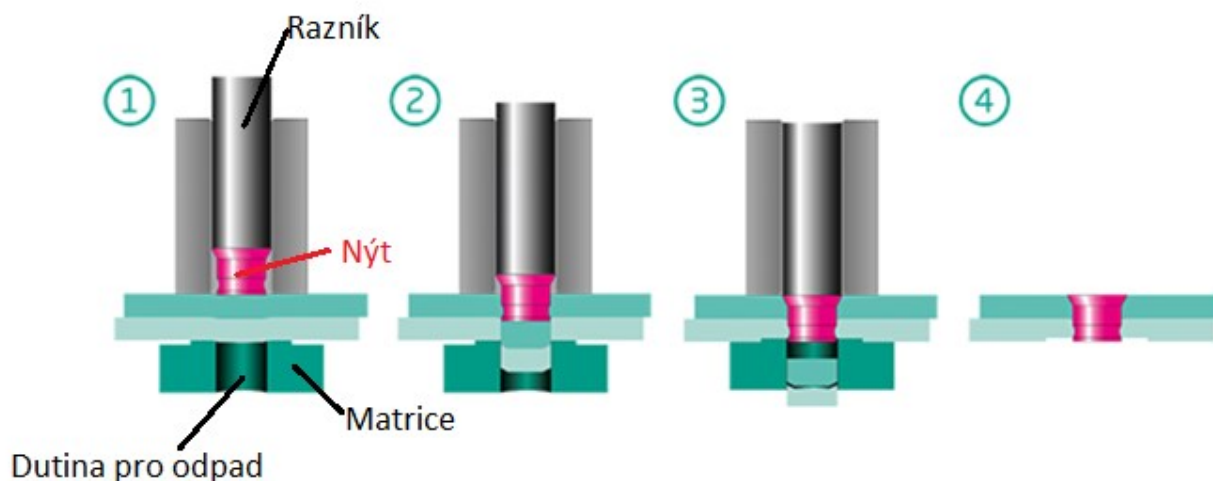
Hlavní výhodou plných nýtů jsou spoje, které jsou z obou stran v rovině s materiálem. Dále vzniká spoj s velice malou deformací. Není potřeba děrovat či předvrtávat spojovaný materiál. Lze spojovat materiály o různých tloušťkách a hodnotách pevnosti. Velice ekologická metoda.

Nýty (**Obrázek 11**) jsou vyrobeny z oceli, korozi-vzdorného nebo kyselinovzdorného materiálu. Dále je možno na obrázku vidět, že nýty jsou různých velikostí a tvarů. Za pomoci ručních či robotických kleští lze zpracovávat plné nýty o průměru 4 mm o délce až 8,1 mm a také nýty o průměru 5 mm o délce až 9 mm. Délka nýtu je tedy limitující, což znamená, že maximální tloušťka spojovaných materiálu je 9 mm. [10]



Obrázek 11 Plné nýty [10]

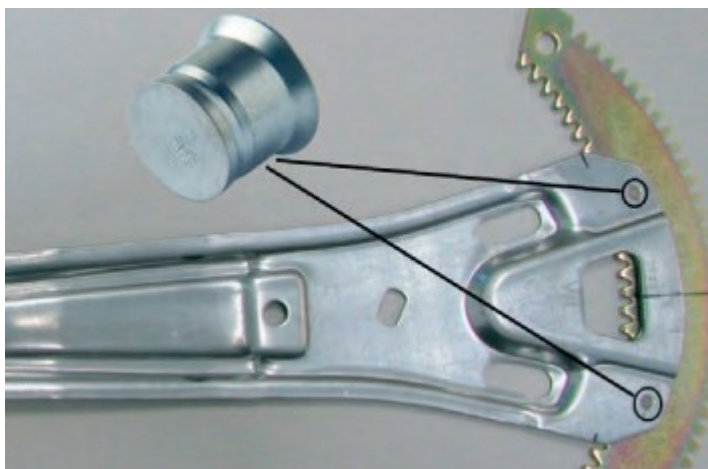
Tvorba spoje probíhá ve čtyřech fázích viz (**Obrázek 12**). V první fázi dojde k uchycení nýtu a razníku do požadované polohy, ve druhé fázi začne razník vyvíjet tlak na nýt a dojde k začátku střížení materiálu, ve třetí fázi nýt zcela prostříhne materiál za vzniku odpadu, který propadne do dutiny matrice, a nakonec ve čtvrté fázi vykoná razník zpětný pohyb.



Obrázek 12 Plný nýt – tvorba spoje, převzato [17]

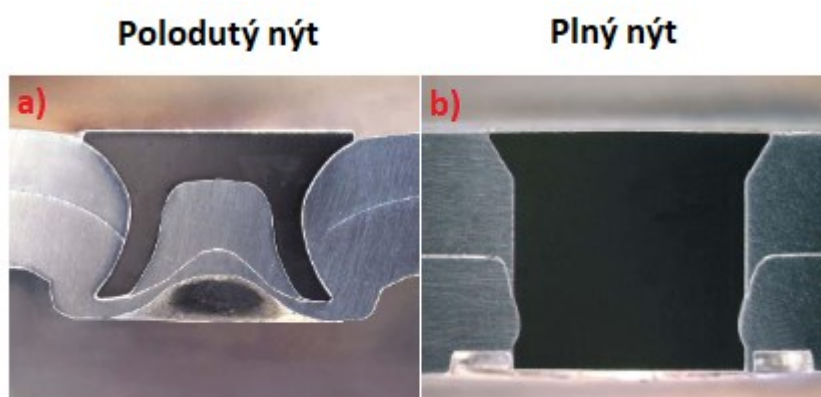
Využití je velice perspektivní ať již se jedná o držák chladiče v nákladních automobilech, ovládání okenního skla v osobních automobilech, teleskopické vedení nebo součásti střešních oken, zde všude se používá pevné spojení pomocí plných nýtů. Na (**Obrázek 13**) lze sledovat

použití plných nýtů u zvedáče střešních oken, spojuje zde hliníkové rameno s galvanizovanou ocelí (potažená zinkem) [5,10,17]



Obrázek 13 Využití plných nýtů v konstrukci otvírání střešních oken [10]

Plné nýty (**Obrázek 14b**) jsou podobné polodutým nýtům (viz kapitola 1.2) (**Obrázek 14a**) s tím rozdílem, že mají částečný otvor (naproti hlavě) v dříku. Důvodem tohoto otvoru je snížení síly potřebné k rozšíření válcové části směrem ven. Síla potřebná k aplikaci polodutého nýtu představuje asi jen 1/4 síly nutné k aplikaci nýtu plného. Při nýtování plným nýtem vzniká odpad, u polodutého nýtu žádný odpad nevzniká. U vzniklého spoje polodutým nýtem lze pozorovat malý výmol na spodní straně spoje, který vznikl formováním materiálu. U spoje s plným nýtem tento výmol není, vzniká pouze prstencovitá prohlubeň po matrici. Proto se plné nýty (oproti polodutým) používají zejména tam, kde je kladen důraz na vizuální stránku spoje z obou stran. [6,10,19,20]



Obrázek 14 a) Spoj vytvořený polodutým nýtem b) spoj vytvořený plným nýtem, převzato [6]

1.1.5 ClinchRivet

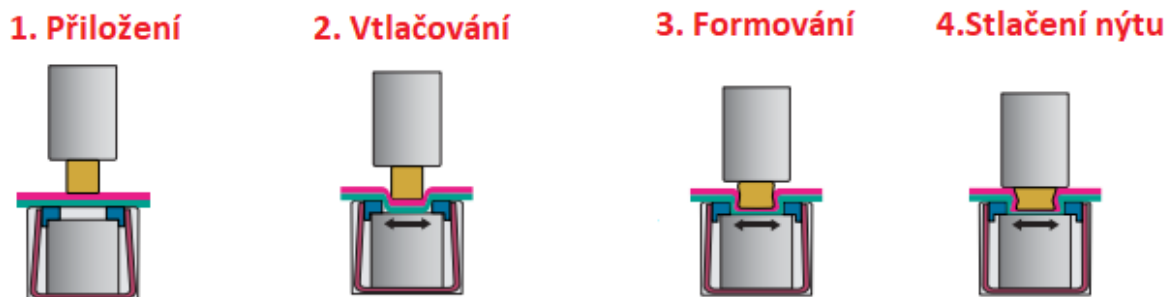
Technologii kombinující klinčování a nýtování označuje firma TOX názvem ClinchRiveting. Speciální matrice a jednoduchý válcový symetrický nýt (**Obrázek 15**) tvoří spojovací prvek k vytvoření spoje s vysokou pevností bez prostřížení materiálu. Lze tak sledovat malou prohlubeň na stranách nýtu. Tato prohlubeň je při procesu zmáčknuta (formovaná) do dutiny matrice. Nedochází k poškození povrchové vrstvy materiálu, stejně tak jako u základního clinchování. Díky vyplnění spoje nýtem se značně zvětšuje jeho pevnost (zejména stříhová pevnost). Ovšem oproti clinchování je potřebný onen nýt, který tuto technologii dělá ekonomicky náročnější. Oproti nýtování plnými nýty nevzniká žádný dodatečný odpad. Metoda ClinchRivet je tedy největším konkurentem polodutých nýtů, zejména u tenkých plechů. [3,9,12]



Obrázek 15 Válcový nýt pro ClinchRiveting a spodní matrice, převzato [9]

Mezi hlavní výhody patří vysoká pevnost spoje (zejména u tenkých plechů), nedochází k prostřížení materiálu (pouze k formování), nevzniká žádný odpad (oproti nýtování plnými nýty), velice dobrá korozivzdornost (netrpí na vzduchové kapsy oproti dutým a polodutým nýtům). [9]

Proces tvorby spoje je vyobrazen na (**Obrázek 16**). V první fázi je nýt nasazen a přitlačen. Ve fázi druhé dochází k vtlačování nýtu do materiálu. Ve třetí fázi probíhá formování materiálu dle spodní matrice. Nakonec ve čtvrté fázi dojde k stlačení (formování) nýtu.



Obrázek 16 ClinchRivet – tvorba spoje [9]

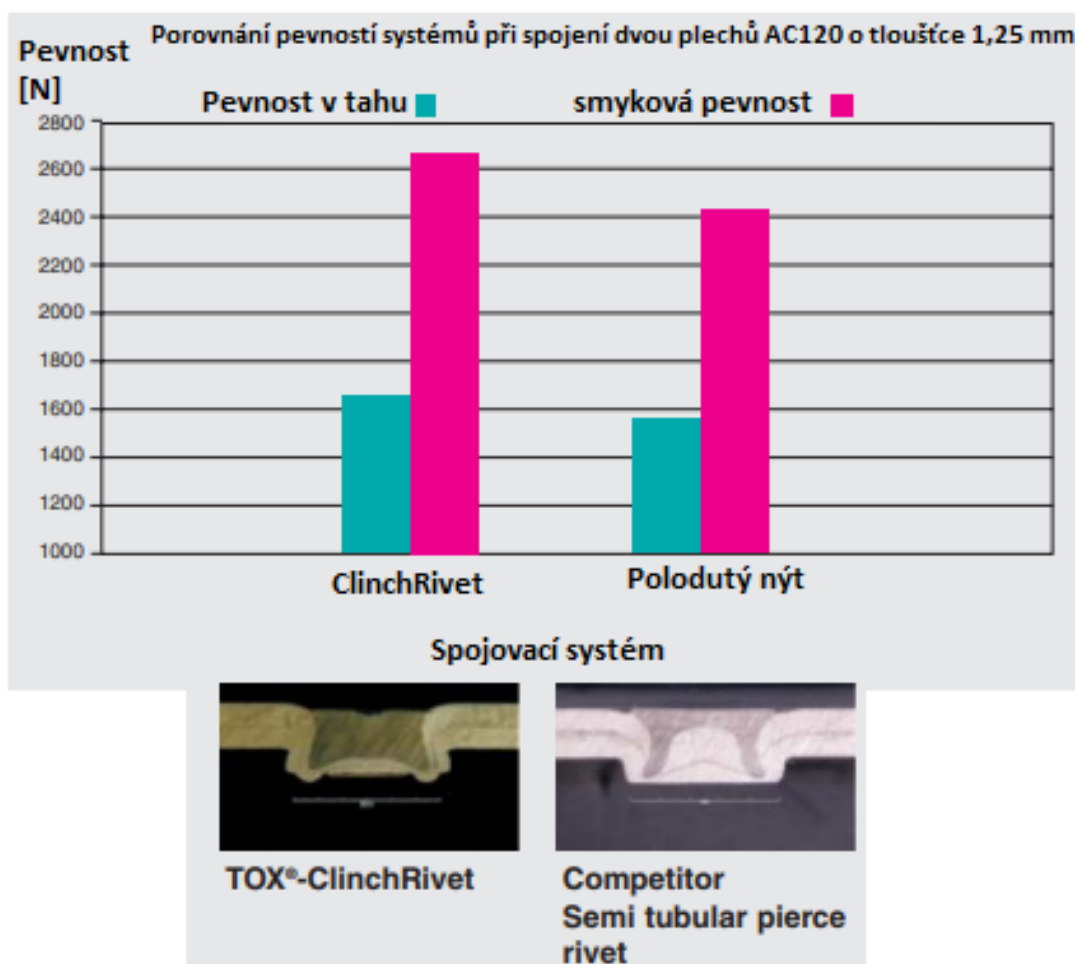
Vytvořený spoj je na (**Obrázek 17**). Spoj se nápadně podobá clinchovanému spoji až na dutinu, která je vyplněná nýtem. Přední strana je téměř rovná s minimální deformací okolo nýtu. Ze zadní stran trčí knoflíkovitý útvar jako u clinchování. Srovnáme-li spoj ClinchRivet s polodutým nýtem jsou vizuálně téměř totožné, ale pro vytvoření spoje metodou ClinchRivet je potřeba cca o 20% větší síla stlačování. [9]



Obrázek 17 ClinchRivet spoj, převzato [9]

ClinchRivet je metoda vhodná pro spojování zejména tenkých plechů. Díky zvýšené pevnosti spoje u tenkých plechů, oproti obyčejnému clinchování, se ClinchRivet používá u plechů a jelek v deformačních zónách osobních automobilů.

Na (**Obrázek 18**) je porovnávána pevnost vzniklého spojení dvou plechů AC120 o tloušťce 1,25 mm. Porovnávána je metoda ClinchRivet s metodou polodutých nýtů. Z grafu lze vidět, že metoda ClinchRivet vykazuje mírně lepší pevnosti jak v tahu, tak ve smyku. Toto srovnání platí pouze u tenkých plechů (s rostoucí tloušťkou plechu rozdíl klesá). Tlaková síla na vytvoření ClinchRivet spoje je však asi o 20% vyšší než u nýtování polodutým nýtem. Pod grafem je možné sledovat řez vzniklým spojem, kde jde vidět, že ClinchRivet materiál neprořezává, ale pouze přetváří. U řezu spoje vzniklého polodutým nýtem lze vidět, že vrchní materiál byl prořezán. [9]



Obrázek 18 Porovnání ClinchRivet s polodutým nýtem, převzato [9]

1.2 Nýtování polodutými nýty

Technologie nýtování polodutými nýty je podstatou této diplomové práce. Nýtování polodutými nýty je v současné době hlavní spojovací metoda pro hliníkové a smíšené automobilové konstrukce. Počátky této metody se datují od roku 1960, ale teprve za posledních 25 let došlo k významnému pokroku, který byl zapříčiněn používáním lehkých slitin v leteckém a automobilovém průmyslu. Lehké slitiny (často na bázi hliníku či hořčíku) je totiž obtížné (popřípadě nemožné) spojovat konvenčními technologiemi svařování. Výzkumy v oblasti hmotnosti vozidla prokázaly, že snížením hmotnosti vozu o 10 % dojde k úspoře paliva mezi 5–7 % což vede ke snížení emisních limitů. S využíváním polodutých nýtů začala automobilka Audi ve spolupráci s firmou Henrob v roce 1993, kdy bylo na model A8 použito 1100 nýtů. Dnes jsou poloduté nýty využívány již téměř všemi automobilkami. Namátkově lze uvést firmy jako Jaguar, Land Rover, BMW nebo Ford. [20, 27]

Spojování polodutým nýtem je operace tváření za studena a patří do skupiny lisovacího nýtování. Jde o proces spojovací techniky, která vytváří vysoce pevné mechanické spojení dvou či více stejných nebo odlišných materiálů, za pomoci vlisování polodutého nýtu viz (**Obrázek 19**) a plastické deformace. Polodutý nýt se skládá ze dvou základních částí, hlavy a sukně. Nýtování polodutým nýtem může být kombinováno s lepením. Mezi hlavní výhody patří, že není nutné, aby byly materiálové komponenty předvrtávány, vyniká spoj bez tepelného ovlivnění materiálu, lze spojovat různé typy materiálů. Technologie je ekologická (bez vzniku emisí) a s minimální hlučností. Technologie je vysoce reprodukovatelná a lze ji snadno automatizovat. [6,19,20]



Obrázek 19 Polodutý nýt a řez vytvořeného spoje, převzato [6]

Hlavní výhody:

- Spojení bez tepelného ovlivnění materiálu
- Pevné spojení (lze kontrolovat opticky)
- Nevyžaduje předvrtání otvorů
- Krátká doba cyklu
- Lze spojovat materiály o různých pevnostech
- Lze spojovat různé druhy materiálů (např. ocel a slitiny hliníku)
- Snadná automatizace
- Nízká energetická náročnost
- Vyžaduje malý počet bezpečnostních zařízení
- Nedochází k znečišťování pracoviště
- Nezatěžuje životní prostředí [6,19,20]

Nedostatky:

- Vyžaduje přístup z obou stran
- Nevhodné pro křehké podklady
- Možná galvanická koroze mezi nýtem a substrátem
- Boule a odsazení spojené s procesem tváření nemusí být esteticky přijatelné
- Relativně vysoká síla potřebná pro proces tváření [6,19,20]

1.2.1 Materiál a typ nýtu

Poloduté nýty (**Obrázek 20**) jsou nejčastěji vyrobeny z vysokopevnostní oceli, hliníku nebo mědi. Ocelové nýty bývají často pokovovány pro lepší odolnost vůči korozi. Pro pokovování se nejčastěji využívá zinek, titan, hliník, nikl či jejich kombinace. Nýty mají širokou škálu tvarů, tvrdostí, povrchů, tvarů hlavy, délek a průměrů. Tvrdost nýtu musí být vhodně zvolena dle spojovaných materiálů. Nedostatečně tvrdý nýt by se zdeformoval o materiál, naopak příliš tvrdý nýt by nemusel vytvořit dobrý zámek s materiálem. Běžně dostupné poloduté nýty jsou s průměrem hlavy 3 mm až 5 mm o délce od 3 mm do 9 mm. [6]



Obrázek 20 Poloduté nýty, převzato [6]

Optimální geometrií nýtu a jeho vysokou tvrdostí je možno spojovat materiály s pevnostmi v tahu až 1600 MPa. Firma Böllhoff nabízí speciální nýty s označením HDX-SKR pro spojování ultravysokopevnostních ocelí. Oproti obyčejným nýtům s označením C-SKR mají nýty HDX speciální geometrii sukně pro snadné prořezávání materiálů a dále byla zvýšena jejich tvrdost. [6]

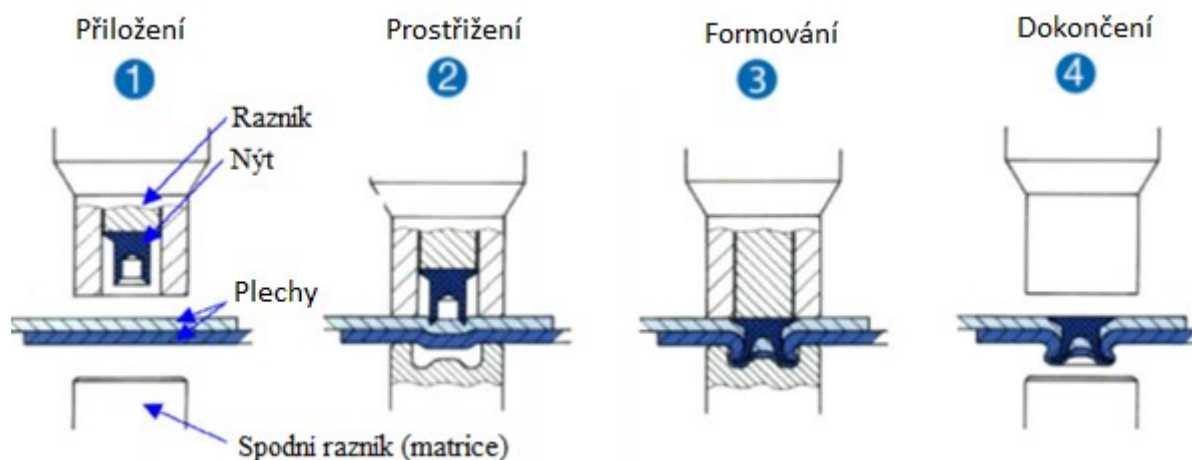


Obrázek 21 Tvary nýtu, jejich označení od firmy Bollhoff, převzato [6]

1.2.2 Proces tvorby spojení

Tvorba spoje (**Obrázek 22**) probíhá ve čtyřech fázích. V 1. fázi dojde k přiložení horního razníku, nýtu a spodní matrice kolmo na spojované materiály. Síla přitlačení musí být dostatečně velká, aby nedošlo k posuvu spojovaných materiálů, ale zároveň nesmí být plechy touto silou deformovány. Ve 2. fázi se zvyšuje tlaková síla na nýt a ten prostřihne vrchní materiál. Ve 3. fázi vstupuje nýt do spodní vrstvy, nedochází k jejímu prostřížení, ale k proudění materiálu do povrchu. Dochází k formování sukně nýtu podle spodní matrice,

díky tomuto formování vznikne mechanický zámek mezi vrstvami. Ve 4 fází dojde k dokončení spoje a uvolnění razníku, který již dosáhl stanovené hodnoty síly nebo zdvihu.

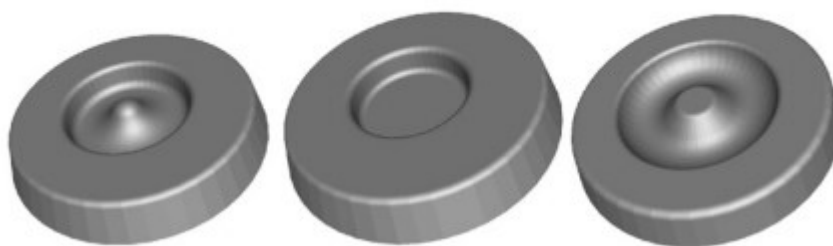


Obrázek 22 Tvorba spoje polodutým nýtem, převzato [20]

Při spojování není udávána tlaková síla razníku pro specifické materiály, protože záleží na mnoha faktorech (např. tvrdost, tvárnost, tloušťka materiálu a velikost nýtu). Vhodné hodnoty tlakové síly jsou nalezeny opakovanými pokusy, pomocí postupů, které jsou založené na znalostech. Na základě těchto pokusů bylo definováno několik pravidel, aby byla zajištěna nejlepší mechanická pevnost konečného nýtového spoje. Pokud se jedná o různé materiály nebo různé tloušťky materiálů, hraje důležitou roli poloha těchto dvou plechů, kde spodní matrice musí být v kontaktu s plechem s nejvyšší mechanickou pevností. Například nýtování dvou identických materiálů s různými tloušťkami vyžaduje, aby byl silnější plech umístěn do spodu směrem k matrici. Stejným způsobem, při nýtování dvou materiálů s identickými tloušťkami, ale vyrobených ze dvou různých materiálů, je vhodné, aby byl materiál s vyšší mechanickou pevností umístěn směrem k matrici. Doporučená tažnost spodního materiálu je 10 %. [19,20]

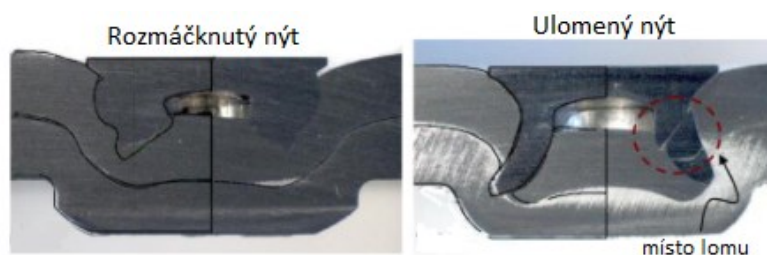
Matrice je ve většině případů vyrobena z nástrojové oceli. Matrice (**Obrázek 23**) jsou navrženy v různých tvarech o různých hloubkách prohlubně a jsou voleny dle spojovaných materiálů. Volbou nevhodné matrice může dojít ke vzniku trhlin v materiálu. Pokud je tedy použit málo tvárný materiál a hrozí riziko trhlin, je vhodná mělká matrice se špičkou uprostřed. Bude-li zvolena vhodná matrice, pak dojde ke zvýšení pevnosti vytvořeného zámku a snížení zatížení na nýt. [6]

Spodní razník (matrice)



Obrázek 23 Druhy spodních razníků (matric), převzato [19]

Nevyhovující spojení je charakterizováno rozmáčknutým nýtem, zlomeným nýtem nebo prořezáním spodního plechu. Na (**Obrázek 24**) je možno sledovat rozmáčknutí nýtu, které bylo zapříčiněno tím, že nebyl zvolen dostatečně pevný nýt k průniku materiálem. Dále je možno vidět ulomený nýt. Lom nýtu nastal kvůli nízké tažnosti materiálu. Lomu je možno zabránit snížením pevnosti nýtu, tím ale může být zapříčiněna jeho nadměrná deformace. [20]

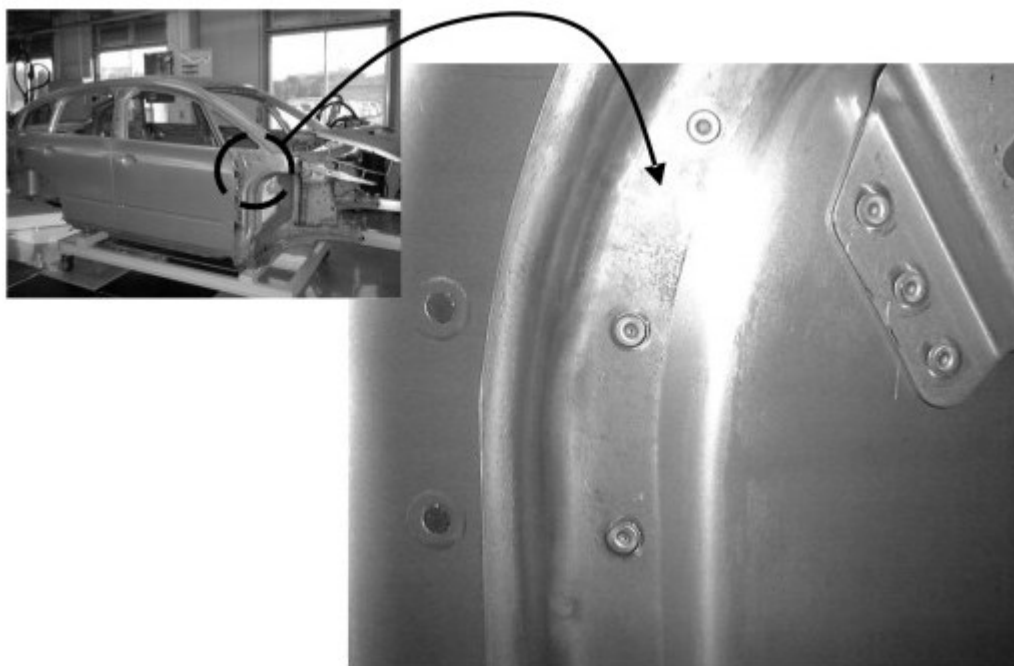


Obrázek 24 Nevhodující spoje, převzato [29]

1.2.3 Použití polodutých nýtů

Umožňuje nýtovat silně pozinkované, organicky povlakované (např.: epoxidové či polyuretanové hmoty nebo komaxit) nebo předem lakované oceli. Dále je možné nýtovat oceli, slitiny hliníku a hořčíku, plasty a jejich kombinace. U oceli lze vyrábět spoje v plechu o tloušťce od 0,5 do 3 mm, s celkovou tloušťkou vrstvení až do 6 mm. U lehkých slitin lze nýtovat celkovou tloušťku vrstvy až 10 mm. [6,21]

Poloduté nýty se používají pro spojování karoserie automobilu (např.: blatníky, střecha, dveře, kapota) či při opravách karoserie. Na (**Obrázek 25**) je možno sledovat vytvořené spojení plechu k panelu automobilu. Lze také vidět, že byla použita matrice se špičkou. [29]



Obrázek 25 Nýtování panelu karosérie, převzato [29]

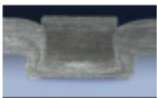

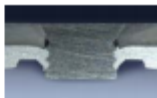
Využití lze nalézt i u velkých spotřebičů, kde jsou nýtovány součásti praček, sušiček nebo myček, například dvířka, rám, buben pračky. Proces nýtování polodutými nýty je navíc velmi zajímavý pro další průmyslová odvětví, včetně kosmického a spotřebního průmyslu (textil, boty). Kromě toho existuje značné využití nýtovaných spojů v domácnostech (skříně spotřebičů, nože) a kancelářích (tělo sponkovačky, regály). Toto široké použití je způsobeno snadnou aplikací, časovými a nákladovými úsporami, společně s vysokou odolností proti korozi a únavě. [6,19,20]

1.3 Srovnání metod spojování

Na (**Obrázek 26**) je možno sledovat odlišnosti nebo podobnosti jednotlivých metod. Srovnávány jsou metody ClinchRivet, nýtování polodutým nýtem a plným nýtem. Průměry nýtů jsou téměř srovnatelné (3 mm – 5 mm), délky jsou již pak odlišné. Nejdelší nýty jsou poloduté až 9 mm, následují nýty plné až 8,1 mm, nejkratší jsou pak ClinchRivet nýty 6 mm. Clinch Rivet metoda je zejména vhodná pro spojování tenkých plechů s nižší pevností do 500 MPa. Polodutý nýt i plný nýt mají oblast použití téměř shodnou, a to do pevnosti 1600 MPa u polodutých nýtů a 1500 MPa u plných nýtů. Počet spojovaných vrstev materiálu je 2 až 3 u ClinchRivet a Polodutých nýtů. Plné nýty jsou pak vhodné ke spojování 2 až 4 vrstev. Nejvyšší pevnosti spoje v tahu či tlaku vykazují poloduté nýty (u tloušťky plechu 1,5 mm).

Dále je nutné uvést, že spoje plnými nýty nejsou plynotěsné ani vodotěsné. Navíc u nýtování plnými nýty vzniká dodatečný odpad oproti ClinchRivet a polodutým nýtům. [28]

Z (**Obrázek 26**) tedy plyne, že metoda ClinchRivet je zejména vhodná pro spojování tenkých plechů a dále pak tam, kde je nutná plynotěsnost či vodotěsnost. Poloduté nýty je vhodné používat tam, kde je nutná vysoká pevnost spoje a pro spojování vysokopevnostních materiálů. Plné nýty je pak vhodné použít pro spojování více vrstev materiálů (3-4), odlišných materiálů (např.: ocel a hliník nebo hliník a plast) a na místech, kde za potřeby, aby byla tloušťka spoje srovnatelná s tloušťkou spojovaných materiálů. [28]

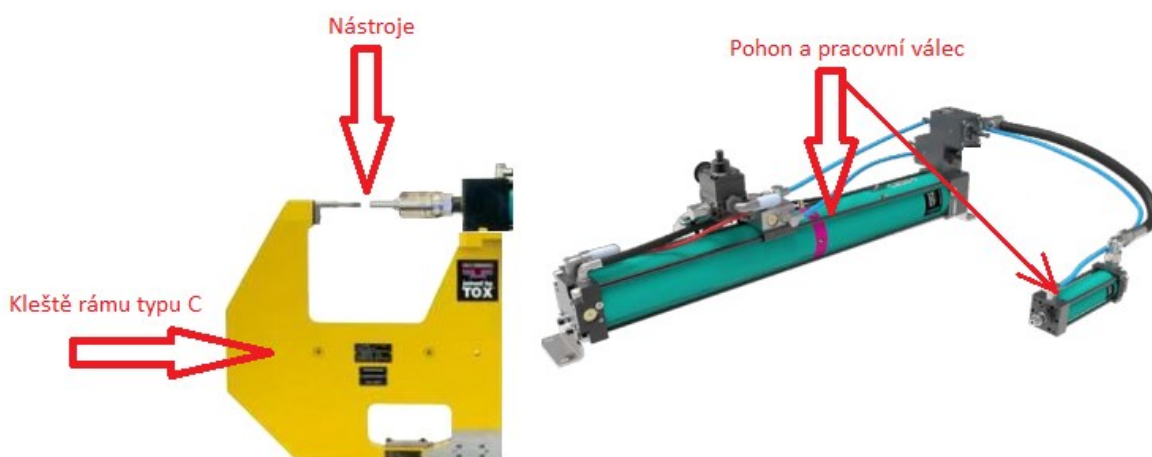
Metoda	ClinchRivet	Polodutý nýt	Plný nýt
			
Typické průměry a délky nýtu	Ø = 3,5 - 5 mm l = 4 - 6 mm	Ø = 3 - 5 mm l = 3,5 - 9 mm	Ø = 4 - 5 mm l = 3,9 - 8,1 mm
Pevnost spojovaného materiálu	< 500 MPa	< 1600 MPa	< 1500 MPa
Počet spojovaných vrstev	2-3	2-3	2-4
Zarovnaný povrch	od razníku	od razníku	možno z obou stran
Pevnost v tahu (typická)	do 1900 N	do 2500 N	do 2100 N
Smyková pevnost (typická)	do 3200 N	do 4300 N	do 3300 N
Prostřižené vrstvy	žádná	Všechny, kromě poslední ze strany matrice	Všechny
Plynotěsnost	Z obou stran	Ze strany matrice	Ne
Vodotěsnost	Z obou stran	Ze strany matrice	Ne
Minimální tloušťka plechu na straně matrice	0,7 mm	1 mm	1 mm
Vznik odpadu	Ne	Ne	Ano

Obrázek 26 Porovnání metod ClinchRivet, polodutý nýt a plný nýt, převzato [28]

2 Nýtovací zařízení pro poloduté nýty

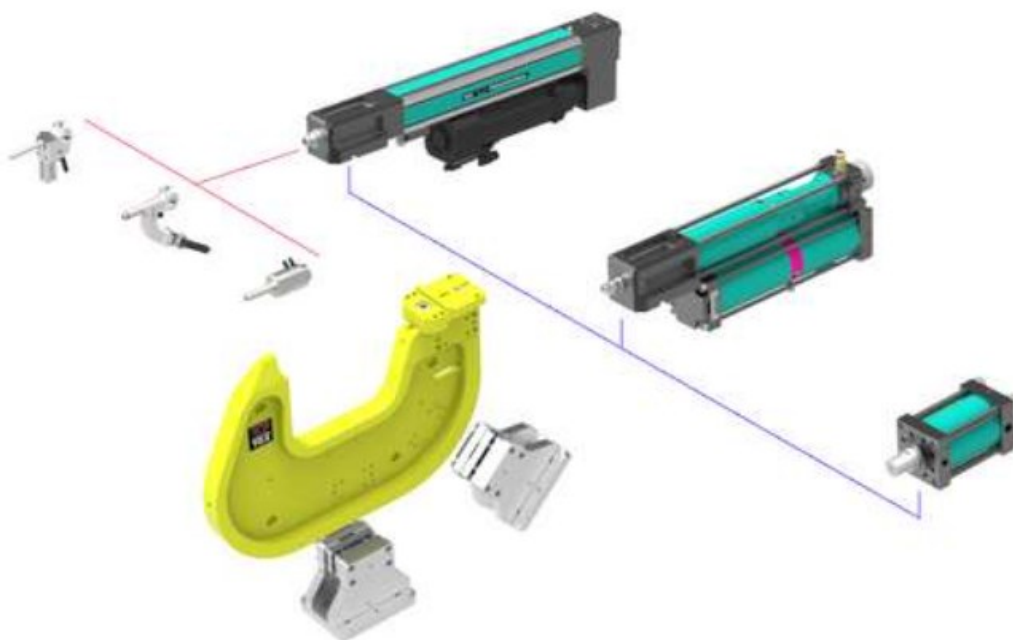
Existuje široká škála systémů pro nýtování polodutými nýty. Klíčové faktory, které vedou k výběru vhodného systému, jsou zejména lisovací síla, pracovní rychlost a velikost komponent. Lisovací sílu vyvolává pohon, který může být elektrický, hydraulický nebo pneumaticko-hydraulický. Lisovací síly se pak mohou pohybovat od 5 kN do 2000kN. Dále můžeme dle lisovacích sil rozdělit nýtovací kleště na ruční kleště a robotické kleště. Čím větší lisovací sílu budeme požadovat, tím větší bude zařízení, a tedy i jeho hmotnost. Hmotnost pak následně určí možnost automatizace, pohyblivost a cenu robota. [22, 23, 24]

Kompletní systém pro nýtování polodutými nýty má tři základní komponenty viz (**Obrázek 27**). Z obrázku lze vyčíst, že se jedná kleště rámu typu C, nástroje pro nýtování a nakonec pneumaticko-hydraulický pohon s hydraulickým pracovním válcem nebo servopohon.



Obrázek 27 Části pracovního systému, převzato [23]

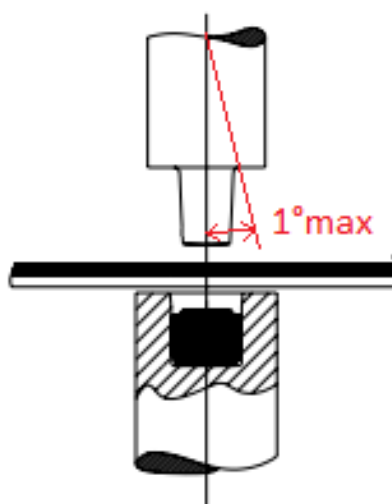
Díky stavebnicovému stylu (**Obrázek 28**) je možné systém přizpůsobit jakýmkoli komponentům (nástroje, pohony). Mimo poloduté nýty je možno pracovní systém využít např.: pro Clinching, ClinchRivet nebo plné nýty. Stačí pouze zaměnit pracovní nástroj, popřípadě pohon a přizpůsobit lisovací síly.



Obrázek 28 Stavebníkový systém, převzato [23]

2.1 Kleště rámu typu C

Protože nýtování polodutými nýty probíhá za využití vysokých lisovacích sil, musí být C-rám dostatečně robustní a tuhý a zároveň je vyžadována vynikající manipulativnost. C-rám nesmí být podélně deformován o více než 4 mm a vychýlení nástroje nesmí být větší než 1° . Pokud nejsou tyto požadavky dodrženy, dochází ke snížení pevnosti výsledného spoje. [22]



Obrázek 29 Maximální vychýlení nástroje, převzato [22]

2.1.1 Ruční kleště

Ruční kleště jsou napojeny na hydraulický pohon a lze je dělit na mini ruční kleště (**Obrázek 30**) a standartní ruční kleště (**Obrázek 32**). [22]

Mini ruční kleště firmy TOX jsou na (**Obrázek 30**). Je možno vidět, že mají opravdu kompaktní rozměry a nejlehčí z nich mají hmotnost pouze 3,8kg, což z nich dělá dokonale přenosný nástroj. Mohou být ovládány jednou či oběma rukama. Kleště jsou osazeny závěsným okem, díky kterému mohou být připojeny k balancéru. Jsou dodávány s kufrem a je možno je převážet osobním automobilem. [22]



Obrázek 30 Mini ruční kleště TOX, převzato [22]

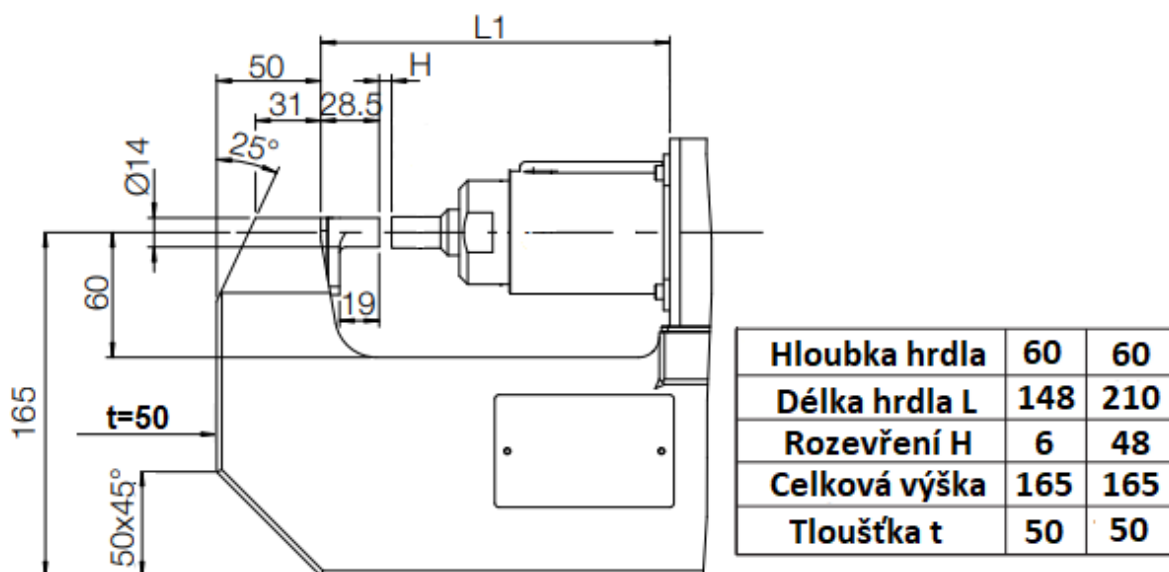
Maximální lisovací síly mini kleští jsou stanoveny na 45 kN. Rozměry C-rámu mini kleští jsou na (**Obrázek 31**). Kvůli jejich kompaktnosti jsou vyráběny s rozevřením nástrojů 6 nebo 18 mm. Je možno si povšimnout, že rozměry kleští závisí na hloubce hrdla (s rostoucí hloubkou hrdla A rostou i ostatní rozměry). Mini ruční kleště se vyrábějí ve dvou základních verzích, a to pro ploché matrice a pro matrice s výstupkem. Z rozměrů a lisovacích sil vyplývá, že mini ruční kleště jsou zejména vhodné pro spojování tenkých plechů (do 1,5 mm) z materiálů s dobrou tváritelností. Namátkově lze uvést slitinu hliníku EN-AW 5754 nebo EN-AW 6060. [22]



Obrázek 32 Standartní ruční kleště TOX, převzato [22]

Rozměry C-rámu standardních kleští jsou uvedeny na (**Obrázek 33**). Hloubka hrdla je zde neměnná a ustálená na 60 mm. Taktéž výška C-rámu je ustálená na 165 mm. Tloušťka rámu narostla na 50 mm oproti 30 mm u mini ručních kleští. Jediné proměnné hodnoty jsou rozevření hrdla H a délka hrdla L. Díky větším lisovacím silám (až 75 kN) je již možno nýtovat pevnější nebo tlustší materiály, než tomu bylo u mini kleští. Namátkově lze uvést slitinu hliníku EN-AW 6060 nebo oceli s nižší pevností. Díky většímu rozevření je možno nýtovat kromě plechů i profily např.: jekly a jiné profily. [22]

Rozměry C-rámu standartních kleští [mm]



Obrázek 33 Rozměry standartních ručních kleští, převzato [22]

2.1.2 Robotické kleště

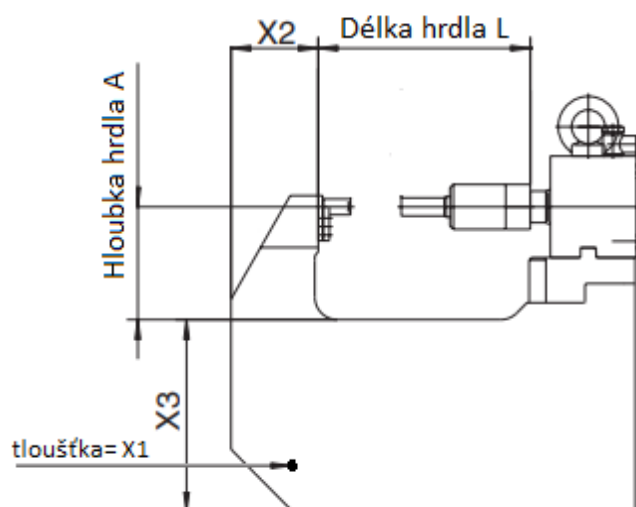
Robotické kleště TOX (**Obrázek 34**) jsou obrovsky variabilní. Velikost C-rámu, nástroje, pohony, ovládací prvky jsou založeny na stavebnicovém systému a lze je připravit podle potřeb a budoucích aplikací. Stejně robotické kleště lze používat pro clinching, poloduté nýty, ClinchRiveting, jediné, co je nutné vyměnit, jsou pracovní nástroje. Standardní lisovací síly robotických kleští se pohybují od 50 až po 80 kN. Kleště jsou osazeny závěsným systémem pro připojení k balanceru nebo konzoli pro připojení k robotickému ramenu. [23]



Obrázek 34 Robotické stavebnicové kleště TOX, převzatu [23]

Základní rozměry robotických kleští jsou na (Obrázek 35). Tloušťka kleští se odvíjí od lisovacích sil. Pro lisovací síly do 50 kN postačí tloušťka 40 mm. Při využívání lisovacích sil od 50 kN do 80 kN musí být tloušťka alespoň 50 mm. Veškeré další rozměry se odvíjí od hloubky hrdla A stejně jako u mini ručních kleští. Délka hrdla L se volí dle délky použitých nástrojů a rozevření. Možnostmi nastavení se robotické kleště hodí na nýtování snad všech tenkostěnných prvků jako jekly další typy profilů. [23]

Rozměry C-rámu robotických kleští

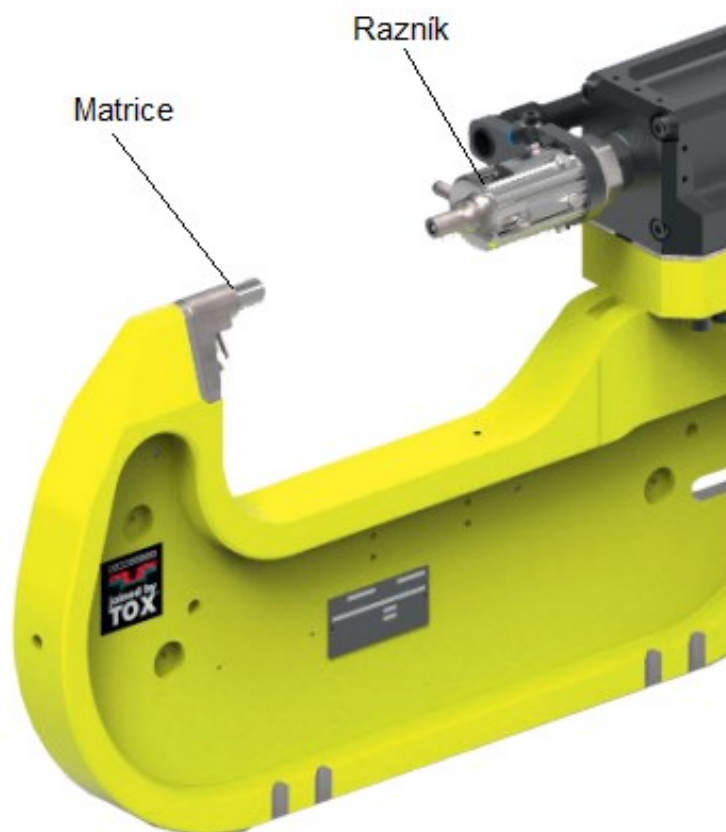


Lisovací síla	Hloubka hrdla mm	X1 mm	X2 mm	X3 mm
50 kN	100	40	75	180
	150	40	110	220
	200	40	145	280
80 kN	100	50	85	180
	150	50	125	220
	200	50	165	280

Obrázek 35 Rozměry robotických kleští, převzato [23]

2.2 Nástroje pro poloduté nýty

Samotný nástroj pro tvorbu spoje se dělí na dvě části, a to matrici a razník. Obě tyto části jsou na (**Obrázek 36**). Razník přenáší lisovací sílu na nýt. Nýt je díky této síle vlisován do materiálu a přebytečný materiál je formován do dutiny matrice. Tyto nástroje jsou vyrobeny z nástrojových ocelí, a proto dokážou odolávat velikým lisovacím silám. Nástroje firmy Tox jsou navrženy pro lisovací sílu do 85 kN. [32,33]



Obrázek 36 Části nástroje, převzato [31]

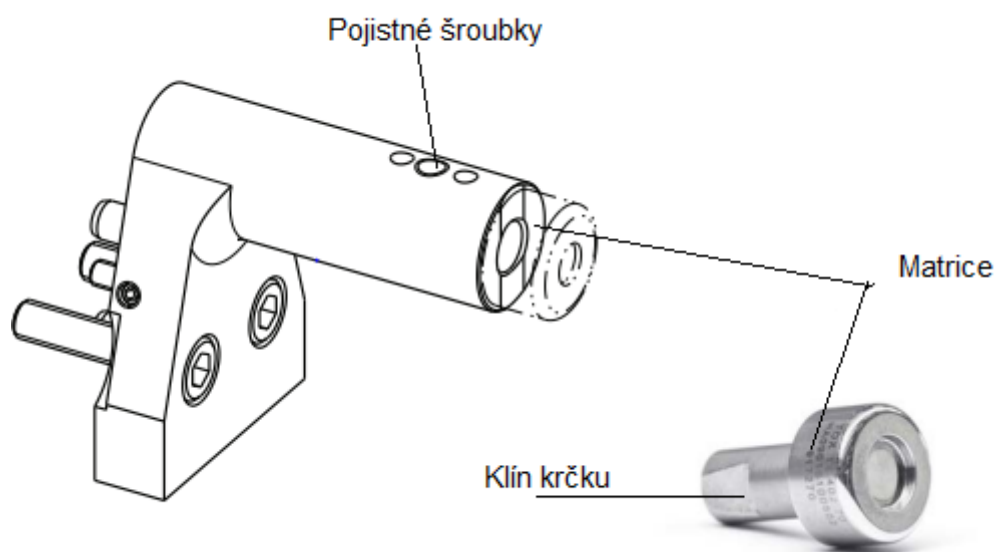
2.2.1 Matrice

Matrice mohou být dvojího typu. První z nich je jeden celistvý kus (**Obrázek 37**), který musí být při změně typu nýtování (např.: jiná velikost nýtu) vyměněn celý. Tento typ je vhodný používat tam, kde víme, že bude vykonávána stále stejná aplikace a nebude potřeba nástroj měnit. Také je cenově dostupnější než druhý typ. [32,33]



Obrázek 37 Celistvá matrice TOX, převzato [33]

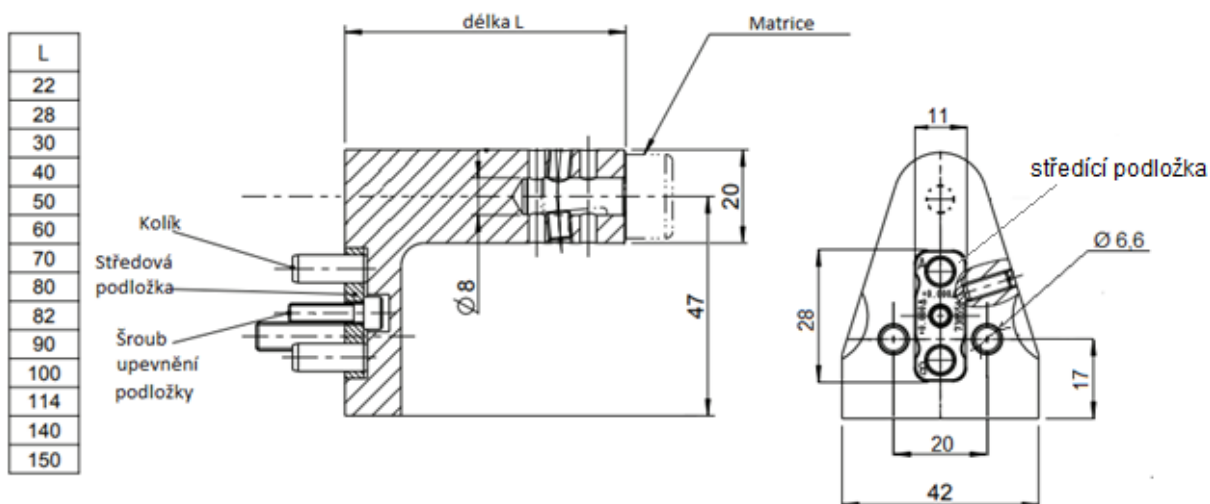
Druhý typ je založen na výměnném systému (**Obrázek 38**). V tomto případě je navržen speciální držák s dutinou a pojistnými šroubky. Matrice má klín v oblasti krčku. Tímto krčkem se matrice nasune do dutiny držáku, klínem směrem ke šroubkům. Dotažením šroubků se matrice zajistí. Při změně aplikace stačí pouze povolit pojistné šroubky a matici vyměnit. Tento typ držáku a matrice se hodí zejména tam, kde víme, že nebude opakována stále stejná aplikace a bude nutné matici často měnit. [32,33]



Obrázek 38 Výměnný systém TOX, převzato [32]

Rozměry držáku matrice můžeme sledovat na (**Obrázek 39**). Je zde vidět velická variabilita. Délky držáků, které nabízí firma TOX se pohybují od 22 až do 150 mm. Materiál držáku je z konstrukční oceli a odolává lisovacím silám do 85kN. Zadní část je osazena středící podložkou. Tato podložka se k C-rámu připojuje pomocí šroubu. Má dvě dutiny pro kolíky, kterými zajistí přesnou polohu držáku matrice. [32, 33]

Rozměry držáku matrice [mm]

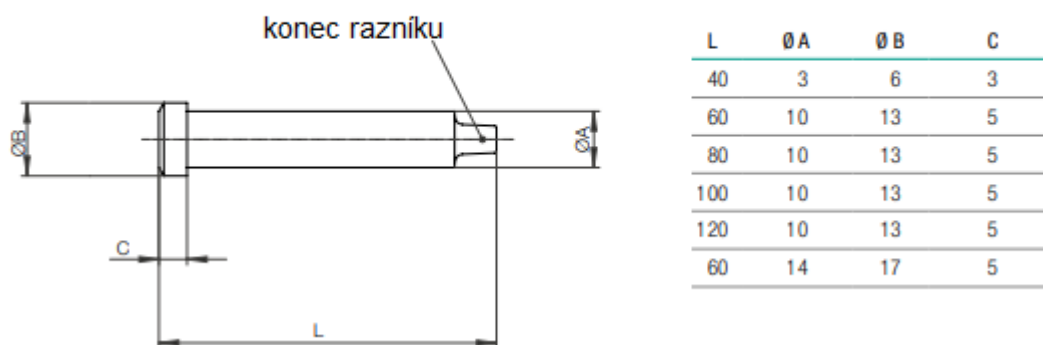


Obrázek 39 Rozměry držáku matrice [32]

2.2.2 Razník

Razníkem je lisovací síla přenášena na nýt. Existuje mnoho různých tvarů a typů razníku. Razníky a jejich zakončení jsou voleny dle typu aplikace. Základní typ razníku a jeho možné rozměry jsou na (Obrázek 40). Razníky jsou připojeny k pracovnímu válci přes odpružený stripper (Obrázek 41). [32,33]

Razník a jeho rozměry [mm]

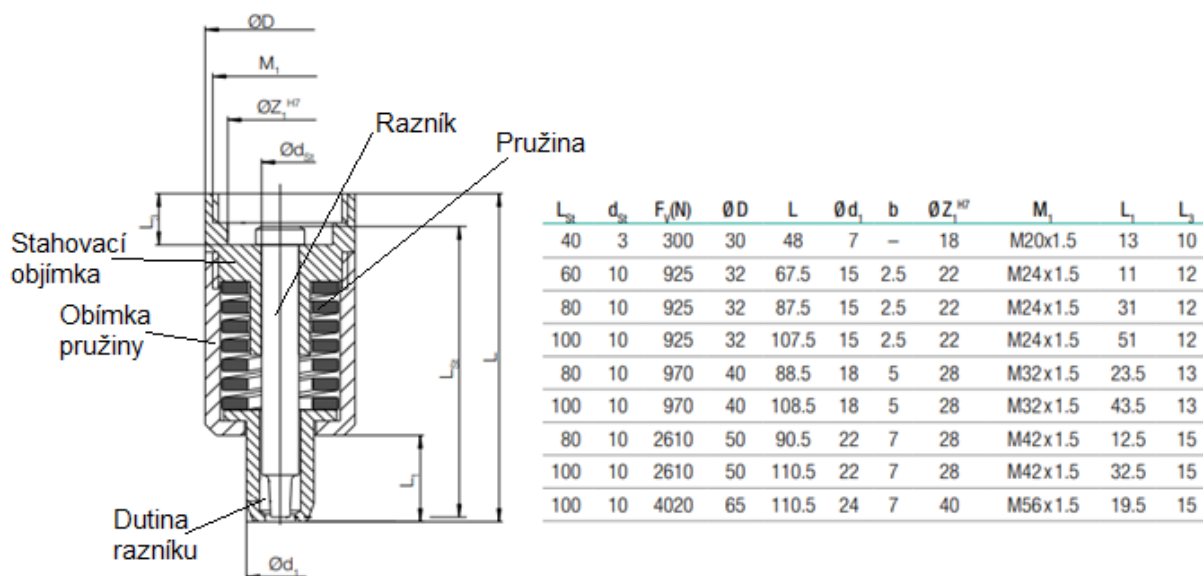


Obrázek 40 Razník TOX a jeho rozměry, převzato [33]

Stripper slouží jako držák razníku. Dále slouží k přitlačení místa spoje před tím, než začne být samotný nýt vtlačován dovnitř materiálu pomocí razníku, a tím tak zabrání možnému vychýlení kolmé polohy razníku ke spojovanému materiálu. Razník, který je vně stripperu

přetlačí pružinu a začne vtlačet nýt do materiálu. Jakmile je spojení dokončeno přepětí pružiny vrátí razník do výchozí polohy. Stripper a jeho rozměry jsou na (**Obrázek 41**). Stripper se skládá z dutiny razníku, stahovací objímky, pružinové objímky a speciální šroubovitě pružiny. [32,33]

Stripper a jeho rozměry [mm]

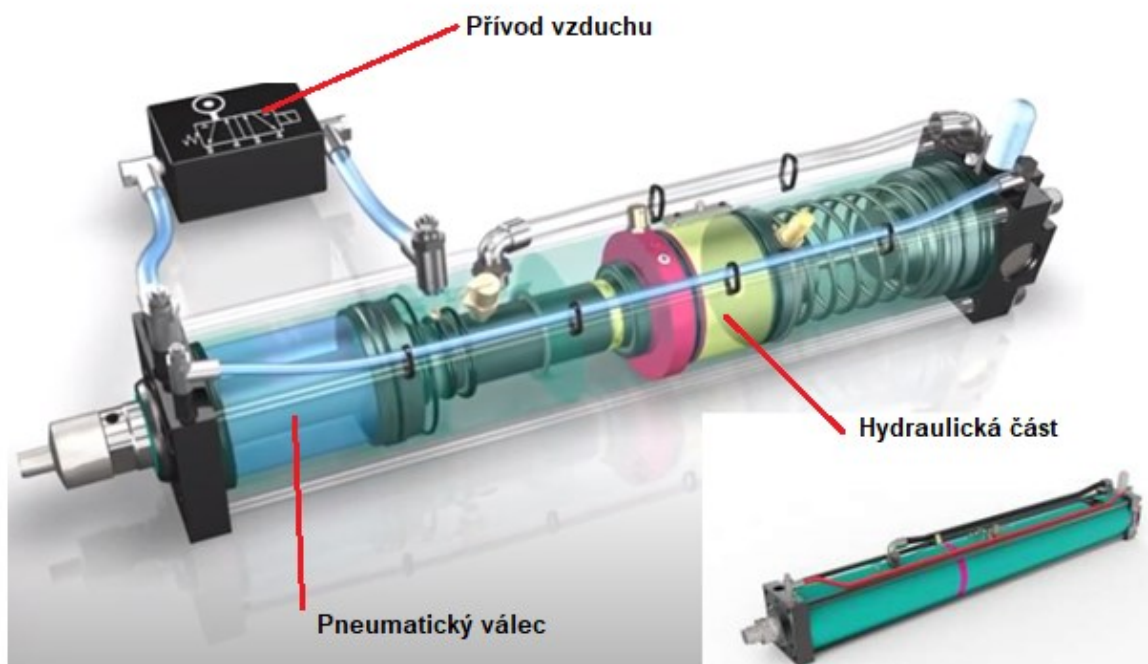


Obrázek 41 Stripper a jeho rozměry, převzato [33]

2.3 Pneumaticko-hydraulický pohon

Jako vhodný pohon pro nýtování polodutými nýty je pneumaticko-hydraulický pohon, servopohon a vačkový pohon. Dále se v textu zabývám pouze pneumaticko-hydraulickým pohonem, protože pro tento pohon budu navrhovat nýtovací vybavení. Pneumaticko-hydraulický pohon (**Obrázek 42**) je energeticky úsporný, neboť hlavní pracovní médium je stlačený vzduch. Základní části systému je ventil pro přívod vzduchu, pneumatická část a hydraulická část válce. Pneumaticko-hydraulické válce se využívají tam, kde je zapotřebí velkých lisovacích sil. Princip pneumaticko-hydraulických pohonů spočívá v multiplikaci tlaku. Pracovním médiem je vzduch a k multiplikaci se využívá kapalina. Lisovací síla tohoto systému se může pohybovat od 23 do 770 kN. Celkový zdvih pracovních válců se dle jejich velikostí může pohybovat od 50 do 220 mm. Systém pneumaticko-hydraulického válce může být v jednom nebo dvou válcích. Systém s jedním pracovním válcem dosahuje vyšších lisovacích sil, avšak je těžký a nepřenositelný. Pokud má pracovní systém dva válce, jeden z nich se stará o multiplikaci tlaku (větší a těžší) a druhý je menší (lehčí) pracovní. Tento typ systému se dvěma válci nedosahuje takových lisovacích sil jako systém s jedním válcem a používá

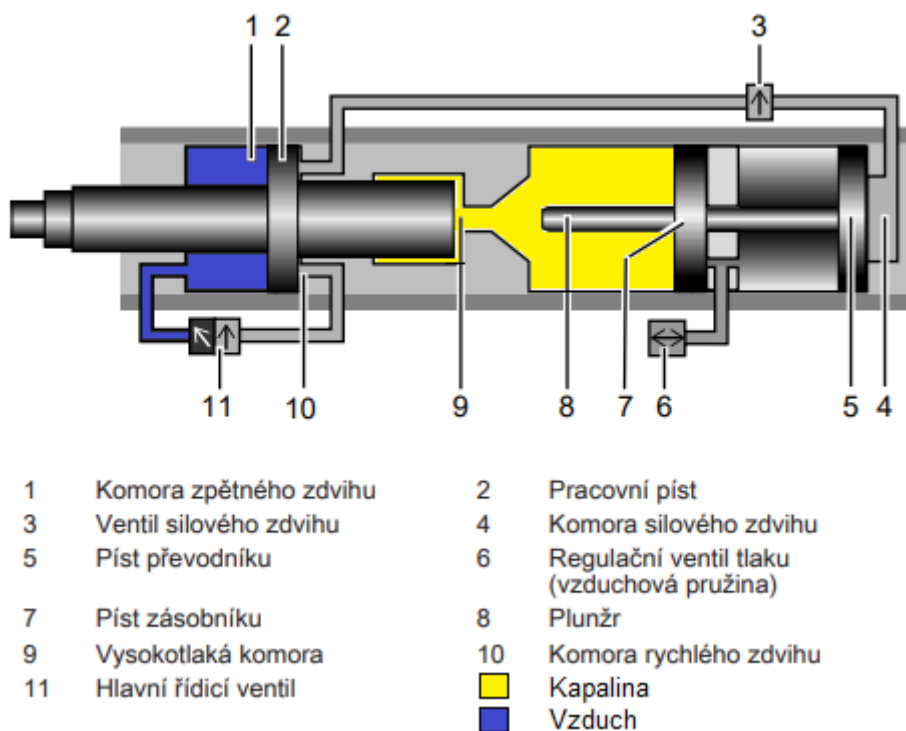
se v aplikacích, kde se požaduje malý pracovní válec z důvodu nedostatku místa. Tento typ pohonu je kromě nýtování polodutých nýtu vhodný pro Clinching, Clinch riveting nebo nýtování plnými nýty. [24, 32]



Obrázek 42 Pneumaticko-hydraulický pohon, [24]

2.3.1 Konstrukce pneumaticko-hydraulického válce

Pneumaticko hydraulický válec se skládá z pracovních a řídicích prvků viz (**Obrázek 43**). Základní částí je pneumatický válec s oboustrannou pístnicí (2), kde je jedna část pístu pracovní a druhá je napojená na hydraulický obvod pro multiplikaci. V části převodníku vzniká přeměnou stlačeného vzduchu na olejový tlak potřebná lisovací síla pro silový zdvih. V části převodníku se nachází pružina s regulačním ventilem tlaku (6). V pracovní části působí olejový tlak na pracovní píst (2). Stlačený vzduch se kromě toho používá pro rychlé nastavení pracovních pístů do pracovní pozice (rychlý zdvih) a jejich návrat do základní pozice (zpětný zdvih). O rozvod vzduchu se stará hlavní řídicí ventil (11) a ventil silového zdvihu (3). [24, 32]

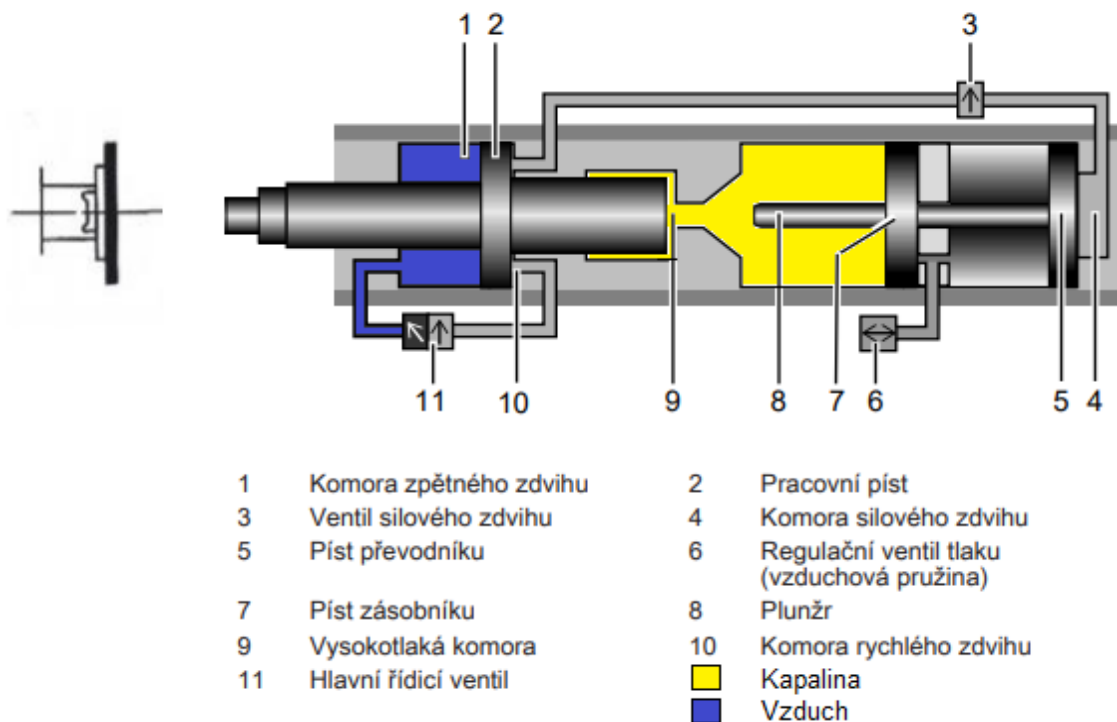


Obrázek 43 Části pneumaticko-hydraulického pohonu, převzato [32]

2.3.2 Princip provozu

Jeden pracovní cyklus lze rozdělit do čtyř základních fází, a to start z výchozí polohy, rychlý přibližující zdvih, silový zdvih a návrat do výchozí polohy. [24, 32]

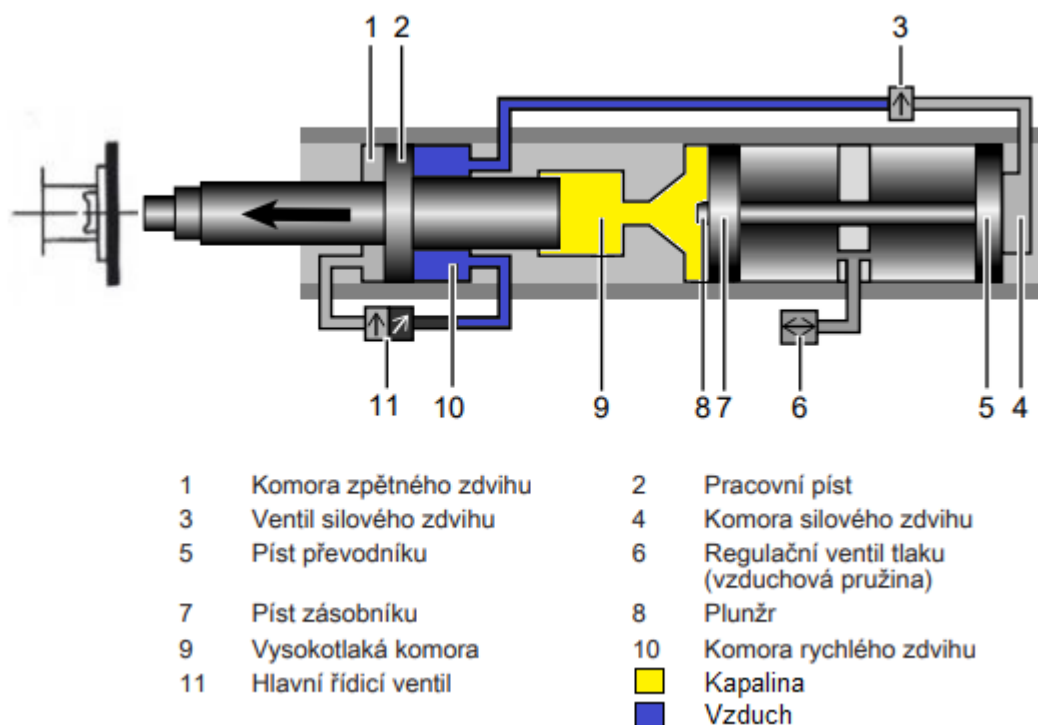
Výchozí fázi můžeme vidět na (**Obrázek 44**). Ve výchozí fázi je zařízení ovládáno hlavním řídicím ventilem (11) s propustností do komory zpětného zdvihu (1). Pracovní píst je zasunutý ve válci. [32]



Obrázek 44 Výchozí fáze pracovního cyklu, převzato [32]

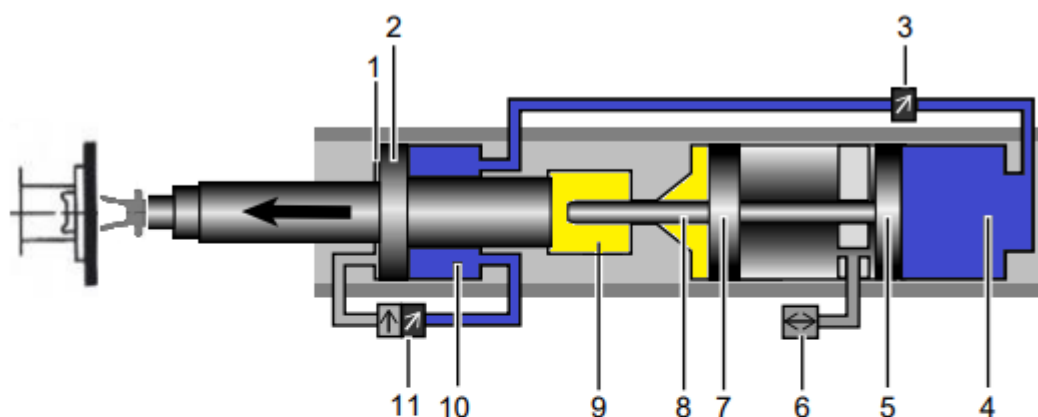
Ve druhé fázi rychlého zdvihu (či rychlého přiblížení) viz (**Obrázek 45**) dojde k odvzdušnění komory zpětného zdvihu (1) a stlačený vzduch začne proudit do komory rychlého přiblížení (10), tuto operaci zajišťuje hlavní řídicí ventil (11). Pracovní píst (2) se rychle přiblíží ke spojovanému materiálu, jakmile narazí na odpor, zastaví se. Když je komora rychlého zdvihu (10) naplněná a pracovní píst je v doteku s materiálem, dojde k proudění vzduchu k ventilu silového zdvihu (3). [32]

Zároveň dochází k přívodu vzduchu do oblasti s pružinou přes regulační ventil tlaku (6). Tím se dostává do pohybu píst zásobníku (7), který tlačí hydraulické médium ze zásobníku do vysokotlaké komory (9). [32]



Obrázek 45 Fáze rychlého přiblížení, převzato [32]

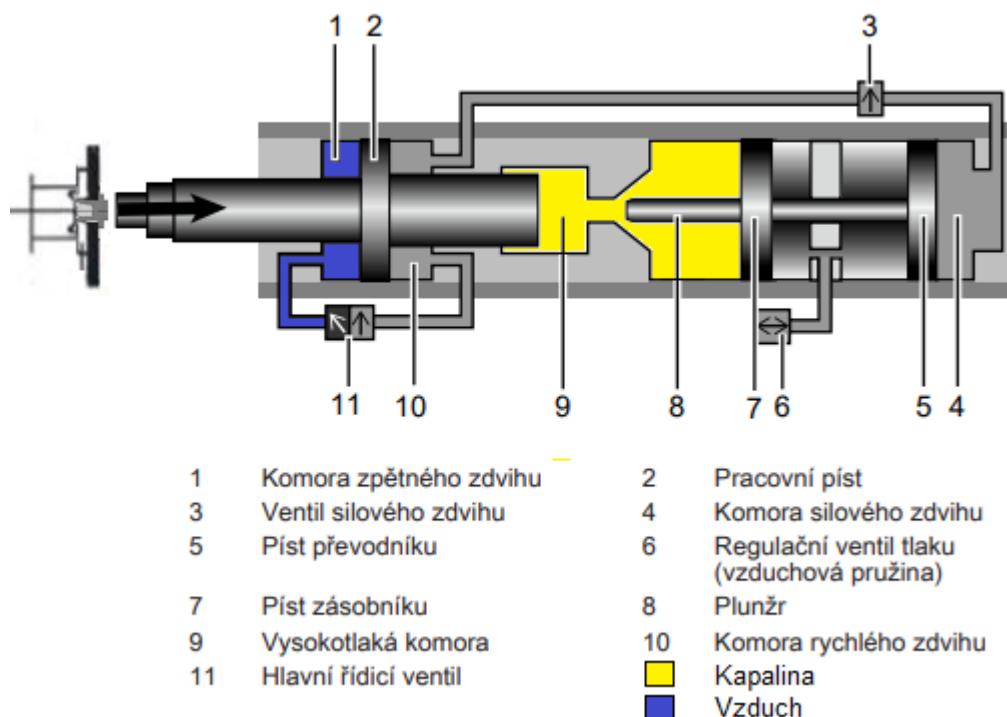
Ve třetí fázi silového zdvihu viz (**Obrázek 46**) dojde k sepnutí ventilu silového zdvihu (3) a stlačený vzduch začne pronikat do komory silového zdvihu (4). Plunžr (8) projede vysokotlakým těsněním a oddělí tak olejovou komoru v pracovním válci od komory zásobníku oleje. Ve vysokotlaké komoře (9) vzniká hydraulický tlak, který přes pracovní píst (2) vytváří silový zdvih. [32]



1	Komora zpětného zdvihu	2	Pracovní píst
3	Ventil silového zdvihu	4	Komora silového zdvihu
5	Píst převodníku	6	Regulační ventil tlaku (vzduchová pružina)
7	Píst zásobníku	8	Plunžr
9	Vysokotlaká komora	10	Komora rychlého zdvihu
11	Hlavní řídicí ventil		

Obrázek 46 Fáze silového zdvihu, převzato [32]

Ve čtvrté fázi zpětného zdvihu viz (**Obrázek 47**) dojde k přepnutí hlavního řídicího ventilu (11) prostřednictvím dosaženého tlaku. Komora zpětného zdvihu (1) se tak začne plnit stlačeným vzduchem, tím dojde k odvzdušnění ventilu silového zdvihu (3), který se přepne do výchozí polohy. Komora silového zdvihu (4) pístu převodníku (5) se přes regulační ventil (6) odvzdušní a aktivuje se tak zpětný zdvih (pružina funguje jako tlumič). Poté co plunžr (8) uvolní vysokotlaké těsnění, zajede pracovní píst (2) do výchozí klidové polohy. [32]



Obrázek 47 Fáze zpětného zdvihu, převzato [32]

2.3.3 Vzduch a hydraulický olej vhodný pro provoz

Vzduch, který je vhodný pro provoz pneumaticko-hydraulického válce, musí být filtrovaný a vysušený. Je přípustný lehce naolejovaný stlačený vzduch. Přípustné hodnoty jsou uvedeny v (*Tabulka 1*). [32]

Tabulka 1 Kvalita vzduchu [32]

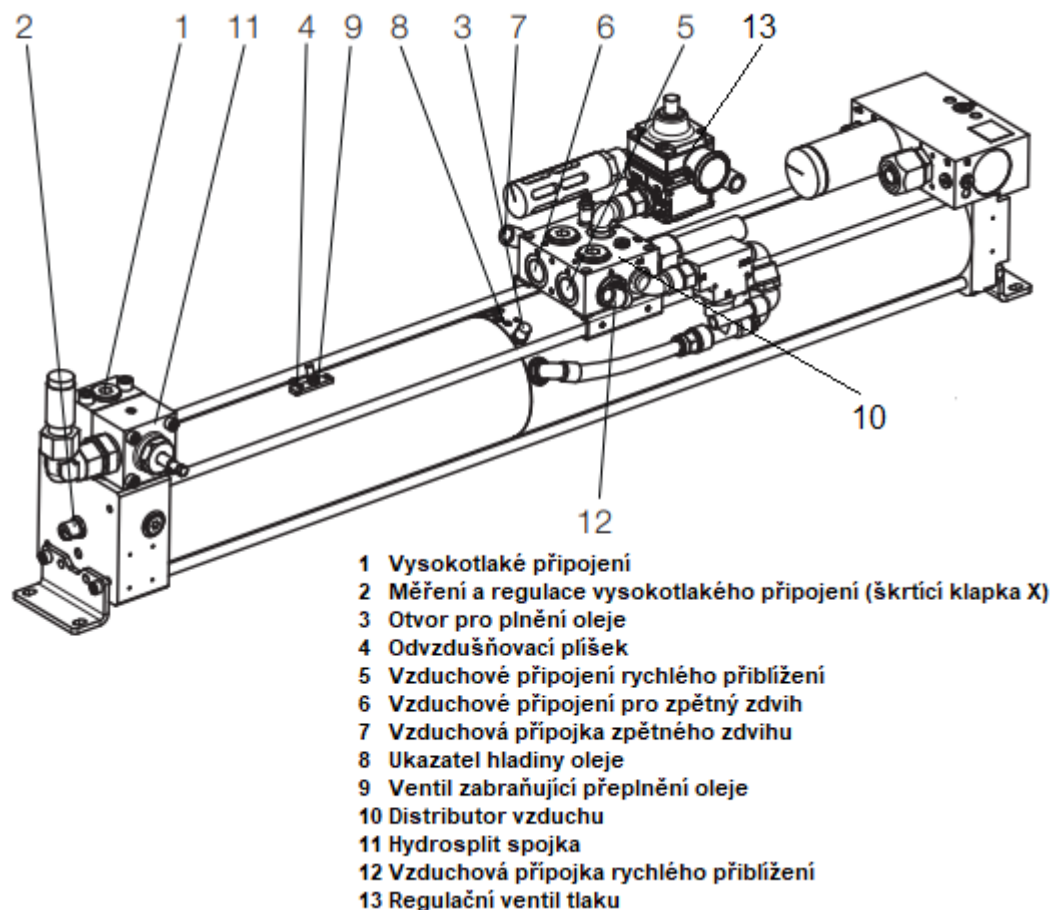
Pevné látky		Rosný bod vody		Maximální obsah oleje	
Třída	[μm]	Třída	[$^{\circ}\text{C}$]	Třída	[mg/m^3]
5	40	4	3	3	1

Vhodný hydraulický olej pro standartní používání je dle normy DIN 51524-2. Jedná se o oleje s označením HLP, které jsou filtrované $<5 \mu\text{m}$ se zatížitelností $30 \text{ N}/\text{mm}^2$. Je nutné využívat tyto oleje, aby nedocházelo k vysokému vpravování vzduchu do oleje. Oleje HLP32 taktéž zaručují vysokou životnost těsnění.

2.4 Zprovoznění pneumaticko-hydraulického válce

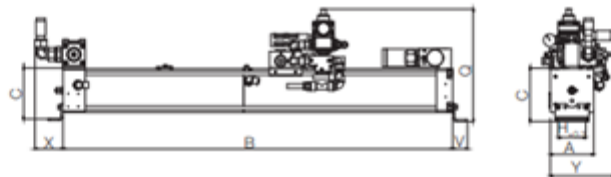
Pro zprovoznění mnou použitého pneumaticko-hydraulického systému s výrobním označením TOX Powerpackage X-KT 0.7.0553, je nutné znát jeho základní prvky, které zajišťují chod pohonu. [24, 32]

Hlavní válec s označením X-ES 125.000.0123.46 slouží k multiplikaci tlaku. Základní vnější prvky hlavního pneumaticko-hydraulického válce X-ES jsou na (**Obrázek 48**). Jedná se o mechanismus přívodu a rozvodu vzduchu (distributor), o regulaci tlaku vzduchu, indikaci oleje a spojovací mechanismy. Jako pracovní válec se pak využívá hydraulický válec s pístem s označením HZL.



Obrázek 48 Vnější prvky pneumaticko-hydraulického pohonu X-ES, upraveno [32]

Rozměry hlavního válce X-ES 125.000.0123.48 viz (**Obrázek 49**). Je zde uvedeno označení válce spolu s jeho rozměry a hmotností. Dále pak množství objemu vzduchu, který je válec schopný dodat pro zdvih rychlého přiblížení a objem, který je válec schopen dodat pro silový zdvih. Tyto hodnoty je nutné znát pro výpočet lisovacích sil. [24, 32]



Rozměry

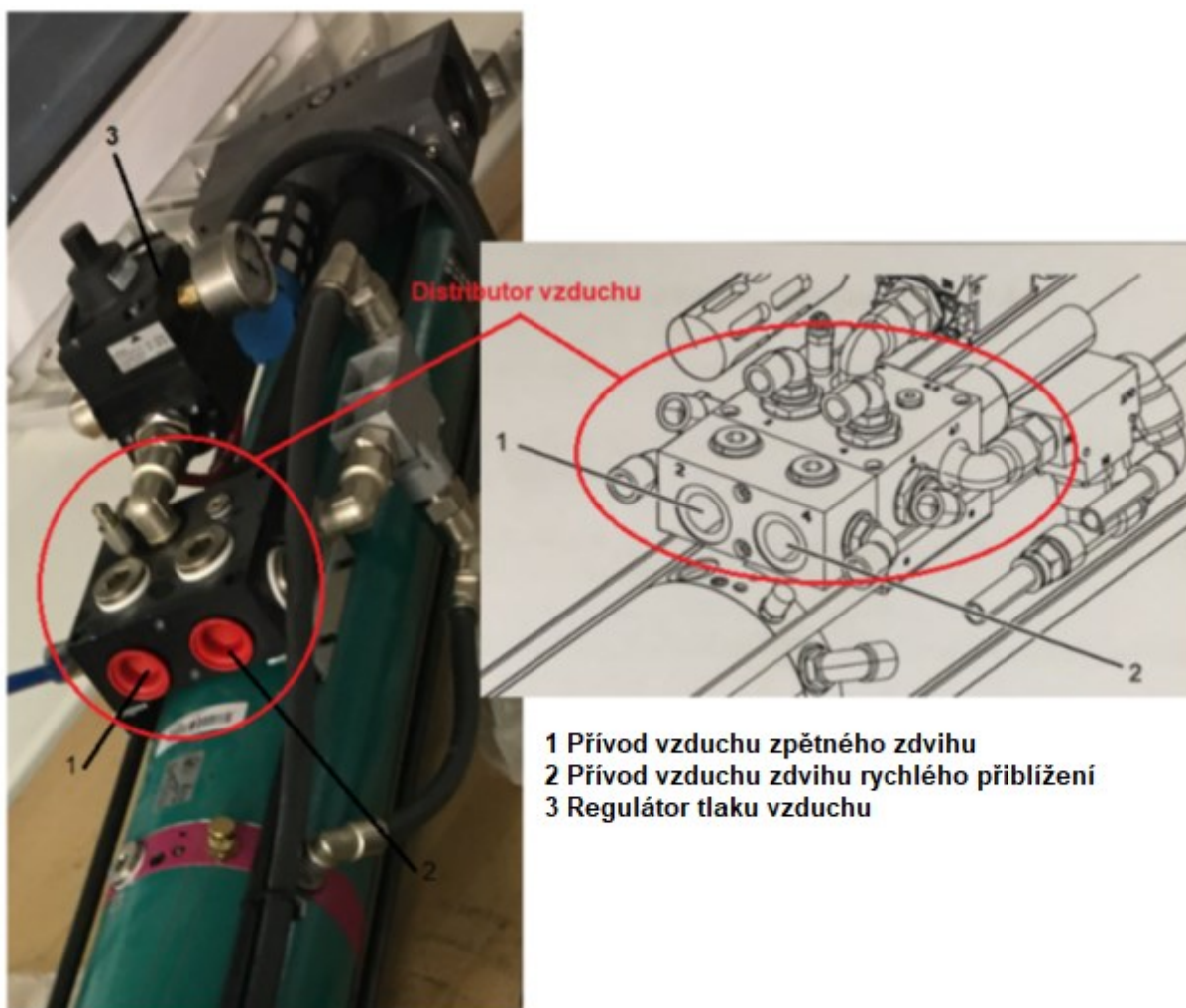
Type	A	B	C	D	E	G	H	Q	V	ZHK 020 X _{max}	ZHK 042 X _{max}	Y
X-ES 125.000.0123.48	135	1207	160	9	6	28	85	345	46	100	–	246

Typ	Dodávané množství pro rychlý zdvih přiblížení cm ³	Dodávané množství pro silový zdvih přiblížení cm ³	Tlak oleje při 1 baru tlaku vzduchu [bar]	Tlak oleje při 6 barech tlaku vzduchu [bar]	Váha kg
X-ES 125.000.0123.48	c 1300	b 123	d 40	241	70

Obrázek 49 Rozměry hlavního pneumaticko-hydraulického válce TOX X-ES [24]

2.4.1 Distributor vzduchu

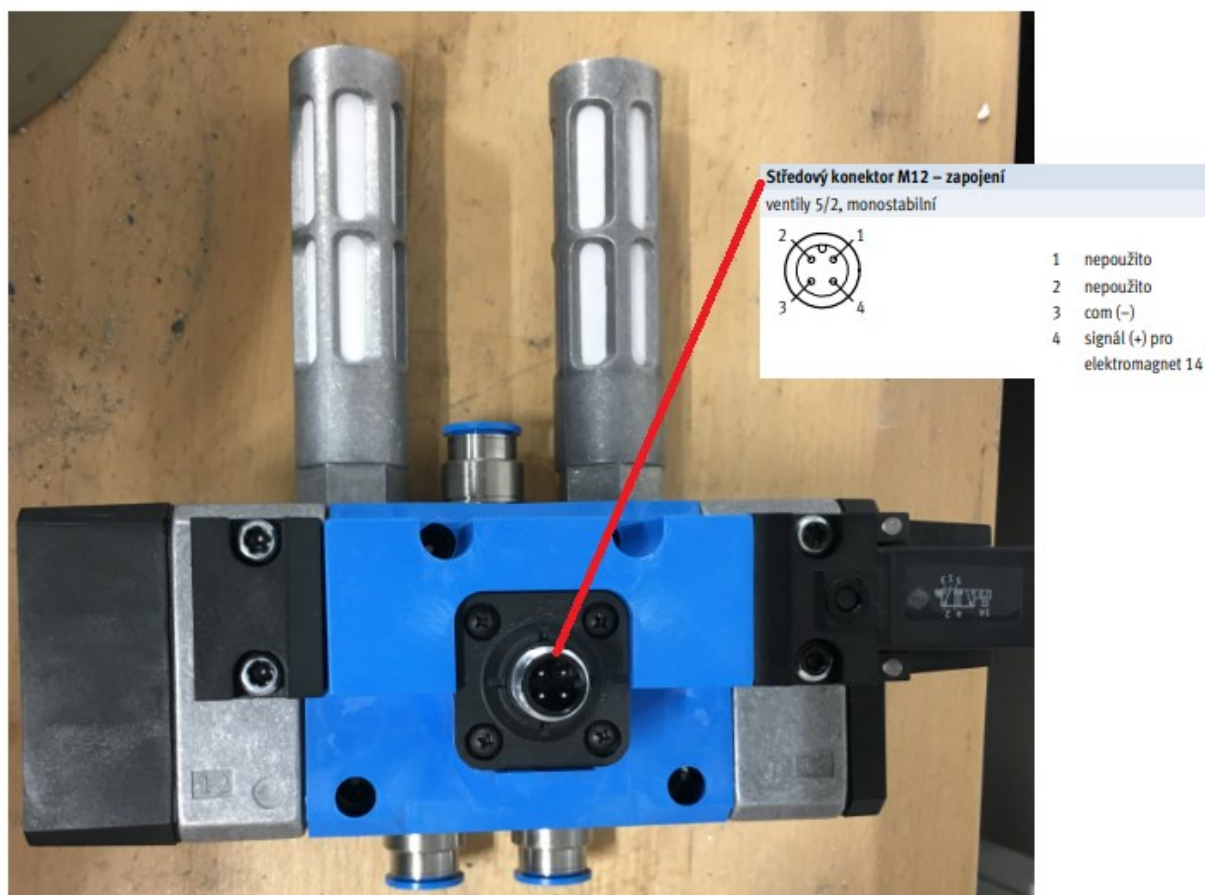
Distributor vzduchu (**Obrázek 50**) slouží k přívodu vzduchu do válce, jedna z přípojek slouží k přívodu vzduchu do komory zpětného zdvihu a druhá pak do komory rychlého zdvihu přiblížení. Je do něj taktéž sveden vzduch zpětného zdvihu pracovního hydraulického válce HZL (viz kapitola 2.4.4). Dále je na něj napojen regulační ventil, který slouží k ovládání tlaku vzduchu. O přívod vzduchu do distributoru se stará elektromagnetický ventil přívodu vzduchu. [32]



Obrázek 50 Distributor vzduchu, upraveno [32]

2.4.2 Elektromagnetický ventil přívodu vzduchu

Elektromagnetický ventil přívodu vzduchu Festo (typ MEBH-5/2-D-3-ZSR-FR-C) (**Obrázek 51**) dodává vzduch směrem k distributoru. Vzduch je přenášen skrze vzduchové hadice. Jedná se o třístavový elektromagnetický ventil, který dle pracovního cyklu přepíná dodávku vzduchu mezi přívodem vzduchu do komory zpětného zdvihu a přívodem vzduchu do komory zdvihu rychlého přiblížení. Přívod vzduchu do elektromagnetického ventilu zajišťuje kompresor. Návrat do výchozí polohy zajišťuje mechanická pružina. Chod elektromagnetického ventilu zajišťuje 24V zdroj. Zapojení středového konektoru M12 je na (**Obrázek 51**). Při sepnutí ventilu dojde k propustnosti vzduchu do hlavního pneumaticko-hydraulického válce, který následně vytvoří lisovací sílu pro pracovní válec. Po uvolnění ventilu dojde k odvětrání válce a jeho návratu do základní pozice. [33]

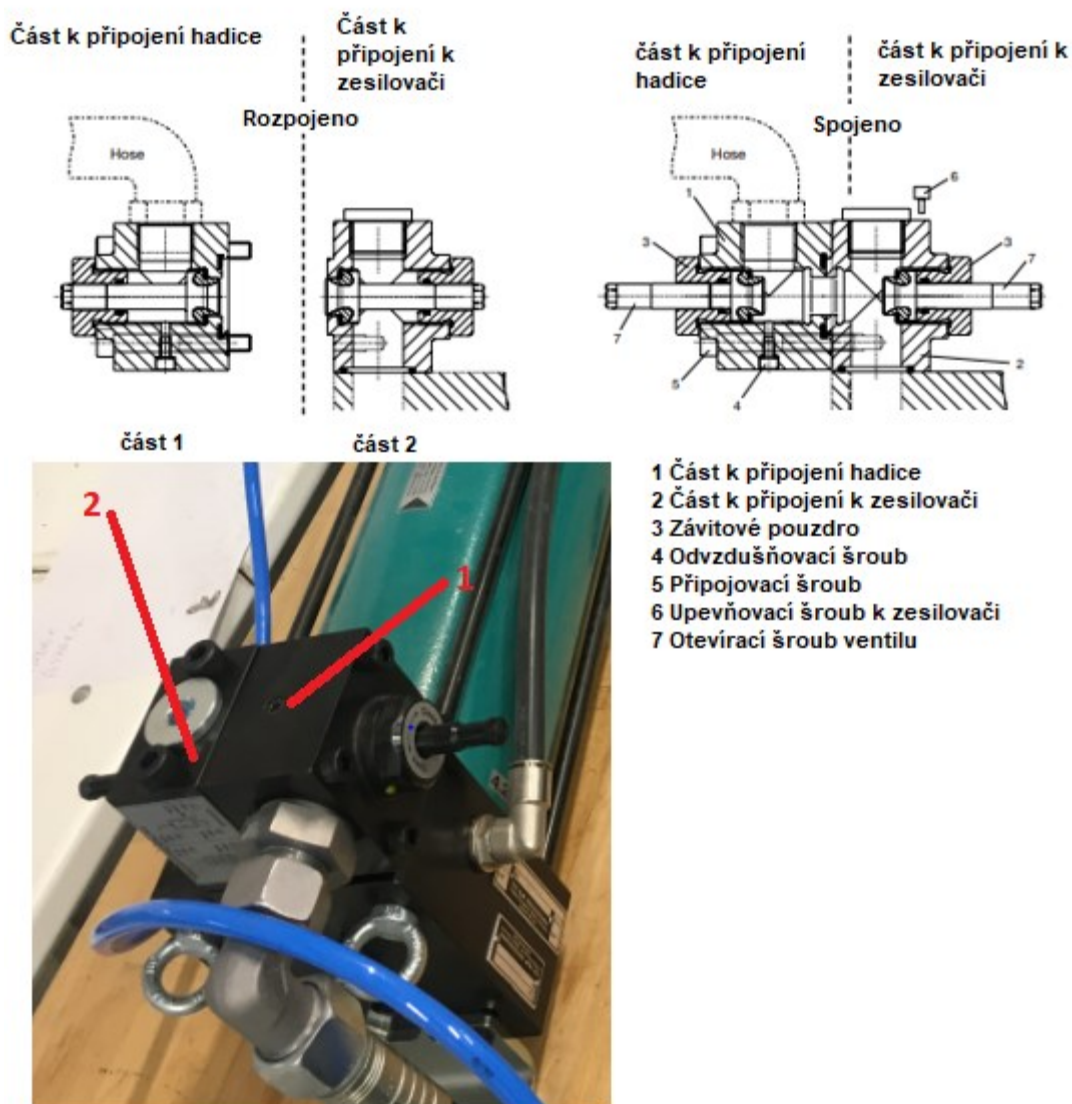


Obrázek 51 Elektromagnetický ventil Festo přívodu vzduchu

2.4.3 Hydrosplit spojka

Pro přenos generovaného tlaku z hlavního válce do pracovního slouží spojka Hydrosplit. Tato spojka je složená ze dvou částí viz (**Obrázek 52**). První část slouží k připojení vysokotlaké hadice a druhá část k připojení spojky k pneumaticko-hydraulickému válci. Spojka je rozdělená na dvě části z důvodu toho, aby mohly být komponenty (hlavní válec a pracovní válec) převáženy s již naplněným hydraulickým médiem. Při rozpojování Hydrosplit spojky je nutné nejprve uzavřít uzavírací ventily na obou stranách, aby nedošlo k úniku hydraulického média. [32]

Hydrosplit spojka

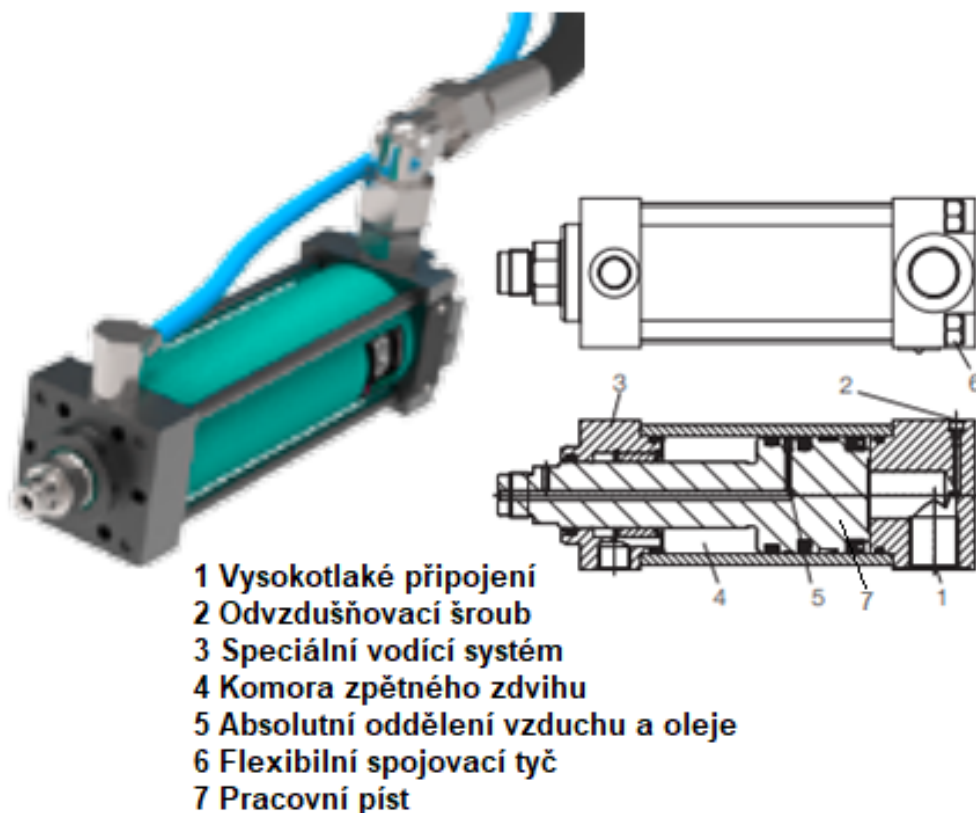


Obrázek 52 Schéma Hydrosplit spojky, upraveno [32]

2.4.4 Pracovní hydraulický válec HZL

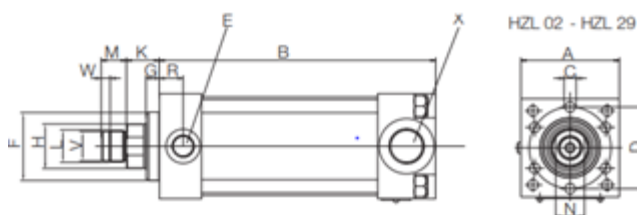
Hydraulický pracovní válec s označením HZL 07.101.100.00 od firmy TOX je použit v mém výzkumu. Mezi jeho hlavní výhody patří kompaktnost a délka zdvihu. Pracovní válec HZL slouží k přenosu generovaných sil na vytvářený spoj. Oproti hlavnímu válci je velice kompaktní viz (**Obrázek 54**). Pracovní válec váží jen 8 kg oproti hlavnímu válci, který váží 70 kg. K hlavnímu válci je pracovní hydraulický válec připojen vysokotlakou hadicí přes Hydrosplit ventil. Celkový zdvih pístu válce je 100 mm. Silový zdvih je pak možný na 13 mm. Maximální lisovací síla, kterou je válec schopný přenést je 76kN. Hlavní výhody odděleného pracovního válce jsou, že je možné pracovat v malých prostorech, a není nutné zvedat celý

multiplikátor jako tomu je u neodděleného systému. Na (**Obrázek 53**) je vzhled válce a jeho zobrazení v řezu, kde jsou vyznačeny hlavní části válce. Přes vysokotlaké připojení je přenášen tlak hydraulickým olejem, který pak vytváří tlak na pracovní píst. Dále se uvnitř válce nachází odvzdušňovací ventil, komora vzduchu pro zpětný zdvih pístu do základní polohy. Komoru zpětného zdvihu zásobuje vzduchem distributor. Díky vysokotlakému těsnění dochází k dokonalému oddělení vzduchu od hydraulického oleje. [24,32]



Obrázek 53 Pracovní hydraulický válec HZL, upraveno [24]

Pracovní válec HZL



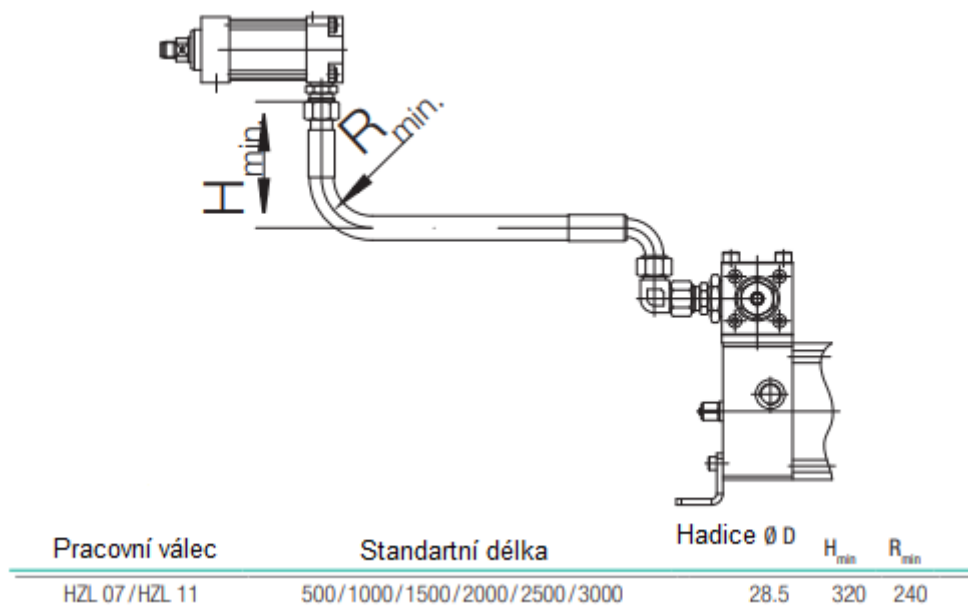
Rozměry

Type	A	B	C	D	E*	F ₀	G	H	K	L	M	N	W	V ₀	R	U	X hydr.
HZL 07.101.100	80	260	6xM8x16	65	G3/8"	52	10.0	35	25	M24x1.5	19	30	6	22	18	–	G3/4"
Type	Maximální lisovací síla při tlaku oleje 250 bar		Verze	Maximální zdvih [mm]		V cm ³	F ₁ mm	F ₂ na 100 mm hadice		Váha kg							
HZL 07.101.100	a	76		101	100	b 3.1	b 6.9	b 0.6		8							

Obrázek 54 Rozměry pracovního válce HZL [24]

2.4.5 Propojovací vysokotlaká hadice

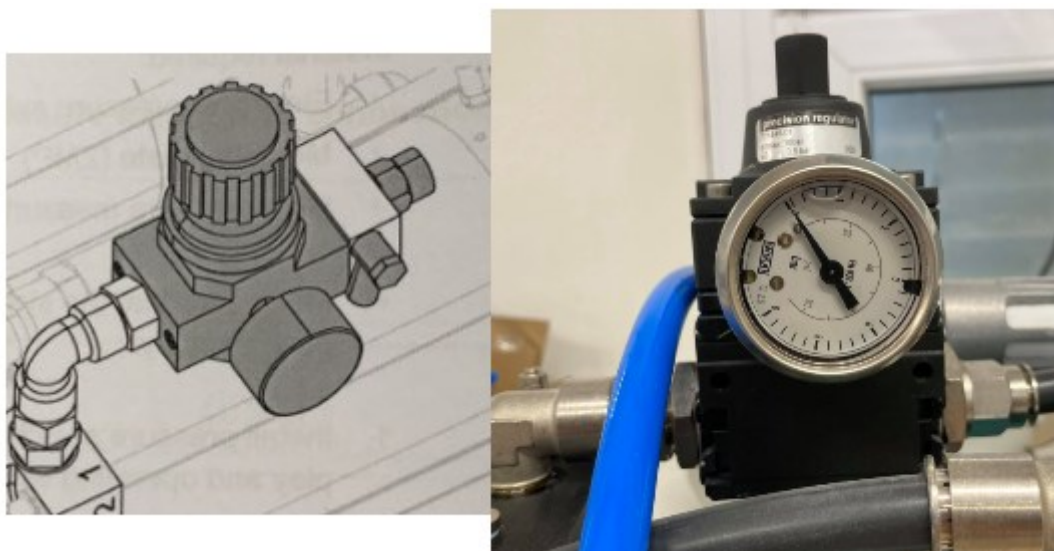
K propojení hlavního válce s pracovním hydraulickým válcem slouží vysokotlaká hadice od firmy TOX. V mém řešení systému pro testovací provoz je použita hadice o délce 1 m. Délku vysokotlaké hadice je možno zaměnit dle požadované aplikace v daném provozu. Vysokotlaká hadice je předem připojená k válci a spojce Hydrosplit, aby již dopředu mohla být naplněna hydraulickým médiem. Základní délky a minimální rádius ohybu je na (**Obrázek 55**). Při nedodržení rádiusu ohybu, může dojít k snížení životnosti hadice či jejímu roztržení. Hadice jsou navrženy pro přenos tlaku až 420 bar. Životnost hadice je 6 let, po uplynutí této doby, by měla být hadice vyměněna. [24, 32]



Obrázek 55 Spojovací vysokotlaká hadice, převzato [32]

2.4.6 Kontrolní ventil tlaku

Kontrolní ventil tlaku slouží ke kontrole tlaku vzduchu ve vzduchové komoře válce. V základní poloze je tlak vzduchu nastaven na 0,8 bar. Maximální přípustný tlak vzduchu ve vzduchové komoře válce je 6 Bar. Samotný tlak, který je přiveden do systému se reguluje regulačním ventilem, který je umístěn na přívod vzduchu před elektromagnetický ventil. [32]



Obrázek 56 Regulační ventil tlaku vzduchu, upraveno [32]

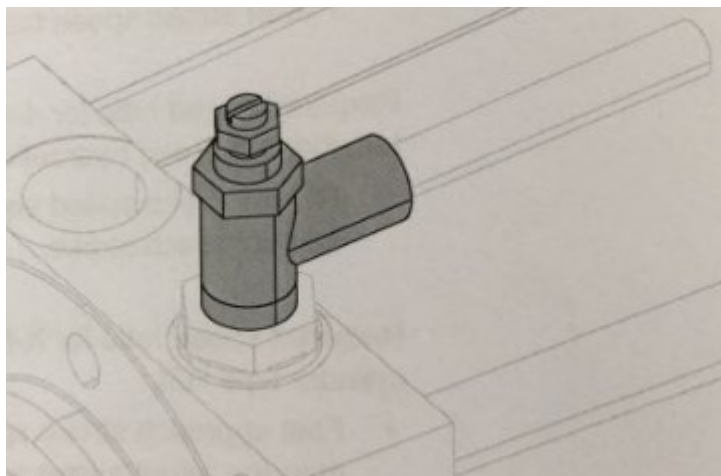
Základní hodnoty pohybující se v rozmezí od 3 do 6 bar vzduchu jsou uvedeny v (**Tabulka 2**). Je zde vidět že při maximálním tlaku 6 bar, je lisovací síla na pracovním válci 76,2 kN, což je maximální dovolená lisovací síla pro naše zařízení. Použití vyššího tlaku by mohlo dojít k poškození válce. [32]

Tabulka 2 Základní tabulka lisovacího tlaku pracovního válce HZL v kombinaci s multiplikátorem tlaku X-ES [32]

Tlak vzduchu [bar]	Tlak oleje [bar]	Lisovací síla [kN]	Síla rychlého zdvihu [daN]	Síla zpětného zdvihu [daN]
3	101	31,3	24,9	0
3,5	124	38,5	32,4	0
4	148	46	39,9	5
4,5	172	53,4	47,3	12,7
5	196	60,9	54,8	20,3
5,5	221	68,7	62,3	28
6	245	76,2	69,8	35,6

2.4.7 Škrtící ventil X

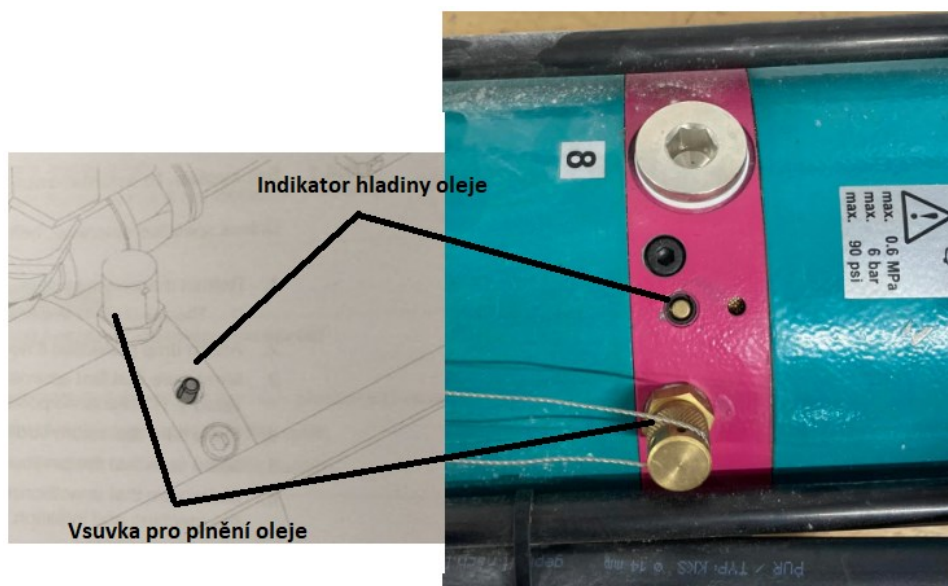
Škrtící ventil X slouží k nastavení časového přepnutí z rychlého zdvihu přiblížení na silový zdvih. Účinek škrtícího ventilu X je ovlivněn tlakem systému. Točením šroubu ventilu v protisměru hodinových ručiček dochází k otevírání ventilu. Čím více bude ventil otevřen tím dříve bude aktivovaný silový zdvih. [32]



Obrázek 57 Škrtící ventil X, převzato [32]

2.4.8 Indikátor hladiny oleje

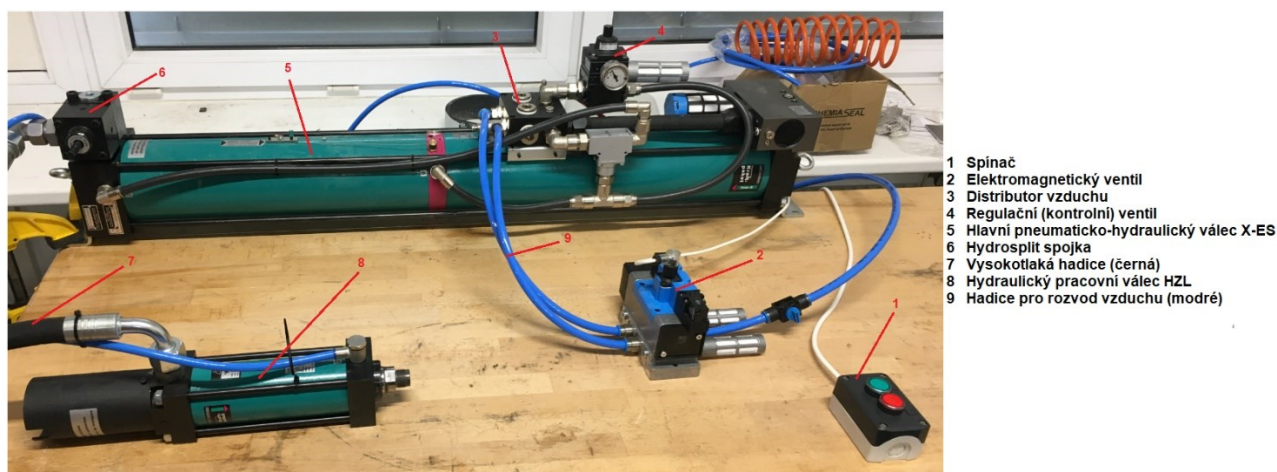
Indikátor funguje na principu jehly s ukazatelem hladiny oleje. Pokud se hladina oleje sníží na minimum je nutné olej doplnit přes vsuvku plnění oleje. Pozici indikátoru a vsuvky proplnění oleje je možné sledovat na (**Obrázek 58**). [32]



Obrázek 58 Indikátor hladiny oleje a vsuvka pro jeho doplnění [32]

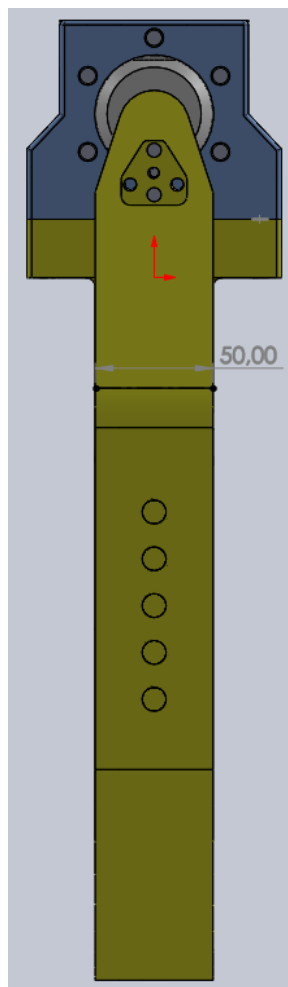
2.4.9 Spojení všech prvků zařízení

Dle získaných informací bylo provedeno spojení všech prvků. Došlo k propojení kompresoru k elektromagnetickému ventilu, dále byl propojen elektromagnetický ventil s distributorem vzduchu. Pro propojení vzduchových komponent slouží vzduchové hadice. Potom co byl zaručen přívod vzduchu do hlavního válce byl přes Hydrosplit spojku připojen hydraulický pracovní válec. Následně došlo k uvolnění šroubů na Hydrosplit ventilu. Po kompletním spojení byl proveden zkušební zdvih pracovního válce. Celou propojenou sestavu lze vidět na (**Obrázek 59**).



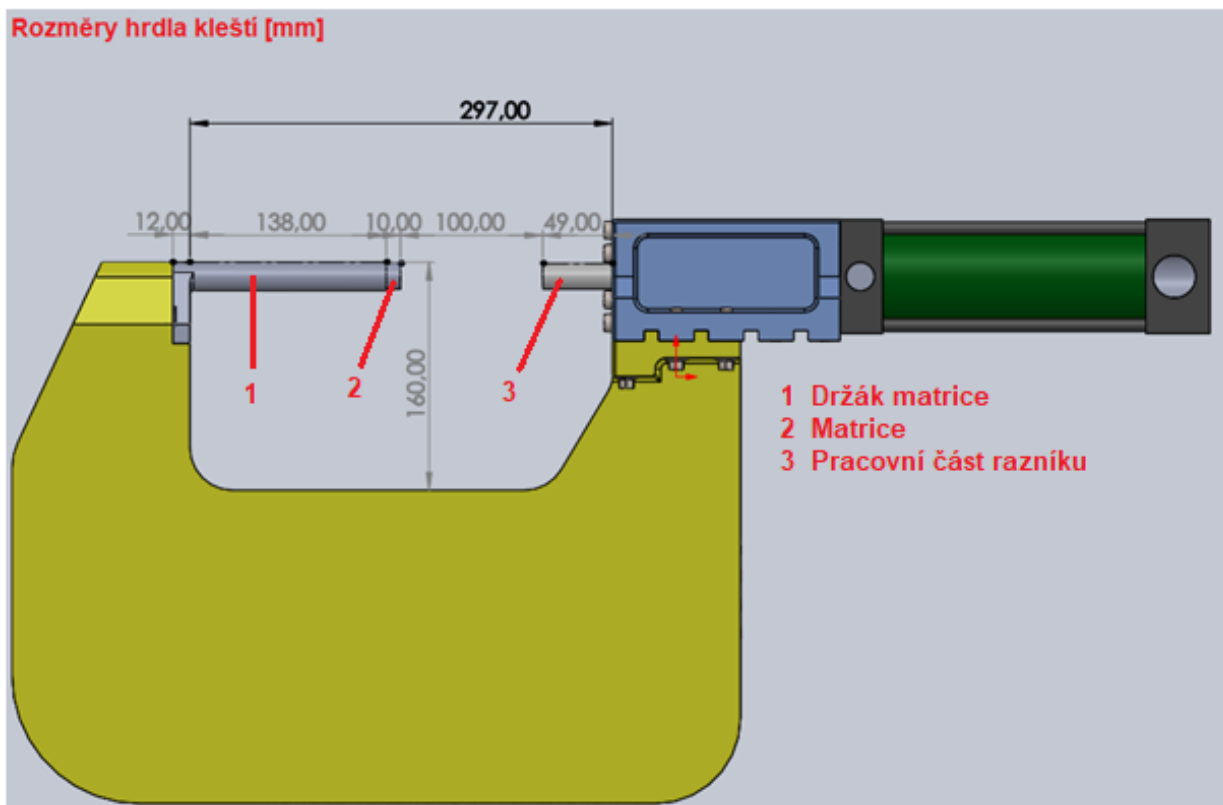
Obrázek 59 Propojení pracovního systému

je pracovní válec HZL 07.101.100.00 schopen dodat, musí být alespoň 50 mm (**Obrázek 61**), aby nedocházelo k nadměrné deformaci kleští.



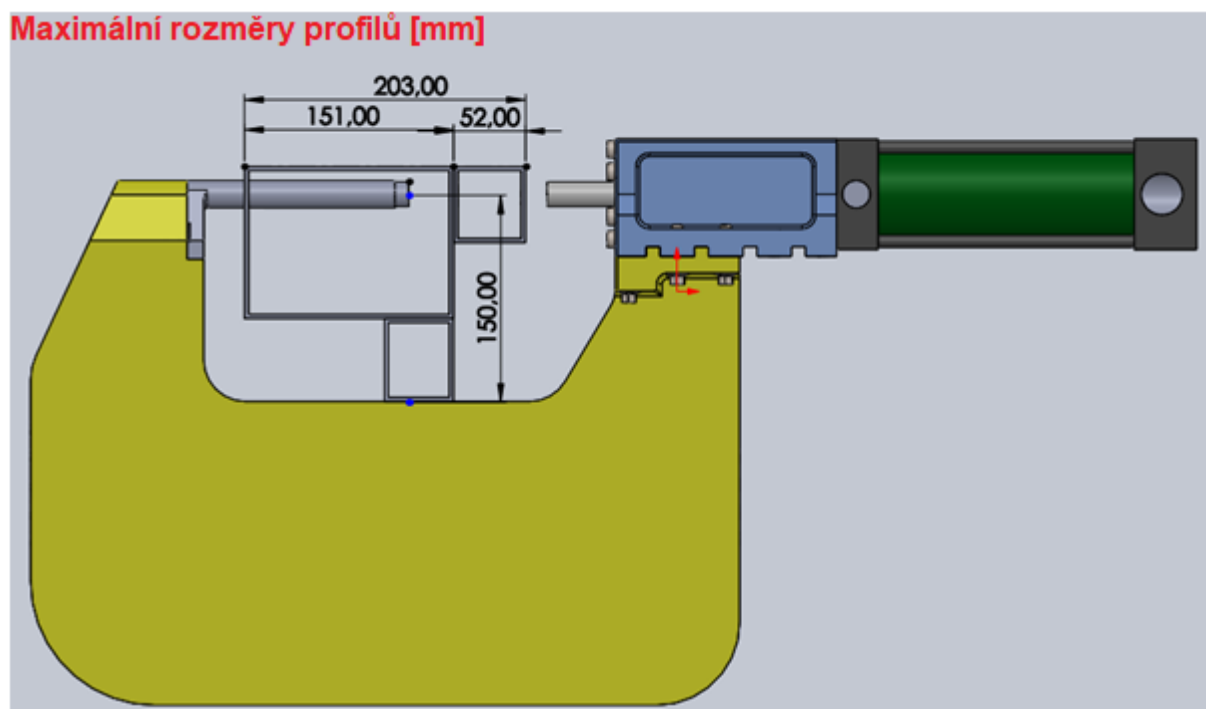
Obrázek 61 Tloušťka C-rámu kleští

U stanovení délky hrdla kleští musí být přihlédnuto k maximálním délkám nástrojů (razník a matrice) a délce zdvihu válce (**Obrázek 62**). Nejdelší možný držák matrice, který zaručuje přenos 76 kN (maximální lisovací síla HZL válce) je 150 mm včetně části pro připojení ke kleštím, která je široká 12 mm. Délka samotné matrice je pak 10 mm. Rozměr pracovní délky razníku 49 mm již byl daný, neboť razník byl již zakoupen dříve pro jiný nýtovací systém. Dále víme, že maximální zdvih pracovního válce je 100 mm. Z těchto směrodatných hodnot byla zjištěna maximální délka hrdla 297 mm. Hloubka hrdla je stanovena na 160 mm, tato hloubka by měla být dostačující pro běžně dostupné velikosti profilů, které by měly být nýtovány.



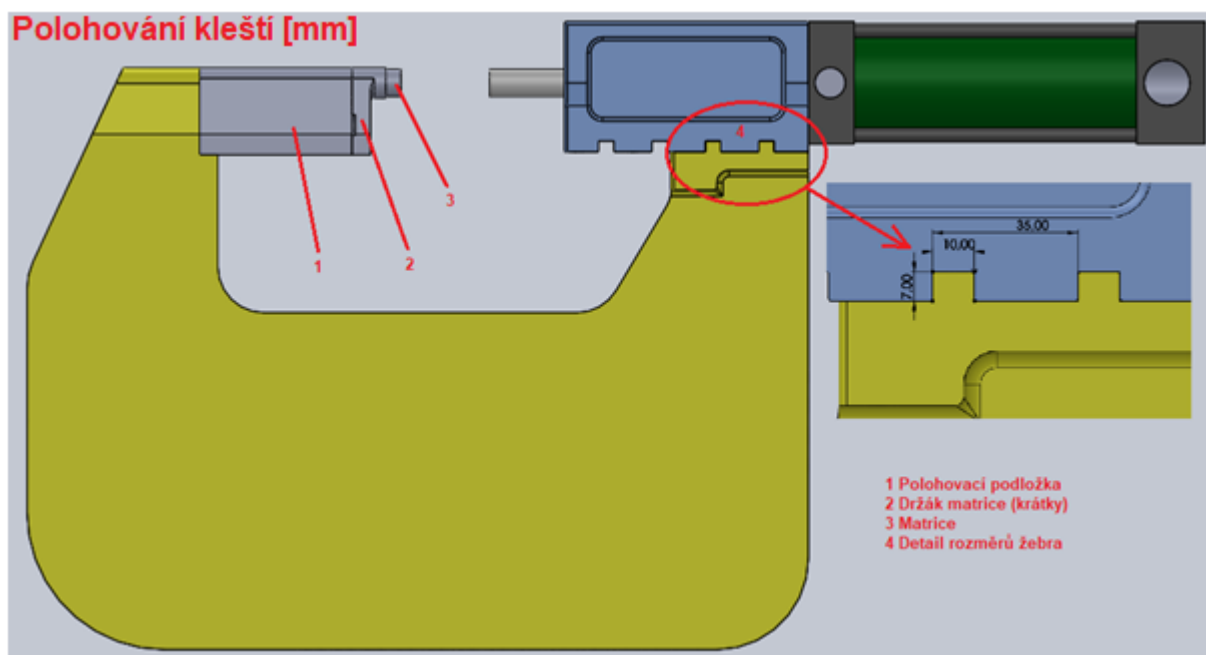
Obrázek 62 Rozměry hrdla C-rámu kleští

Z rozměru nýtovacích kleští tedy vyplývá, že maximální délkový rozměr nýtovaných materiálů je 197 mm. K tomuto rozměru je samozřejmě možné přičíst tloušťku stěn spojovaných materiálů (**Obrázek 63**). Pokud budeme nýtovat dva materiály o tloušťce stěn 3 mm, bude maximální možný délkový rozměr 203 mm. Dále jsme omezeni délkami jednotlivých nástrojů, kde délka pracovní části razníku je 49 mm a délka matrice 148 mm. Přičteme-li tloušťku stěny 3 mm získáme maximální rozměry profilů. Maximální délka profilu na matrici může být 151 mm. Maximální délka profilu na razníku pak jen 52 mm. Maximální hloubka spojovaných součástí je 150 mm. od středu spoje.



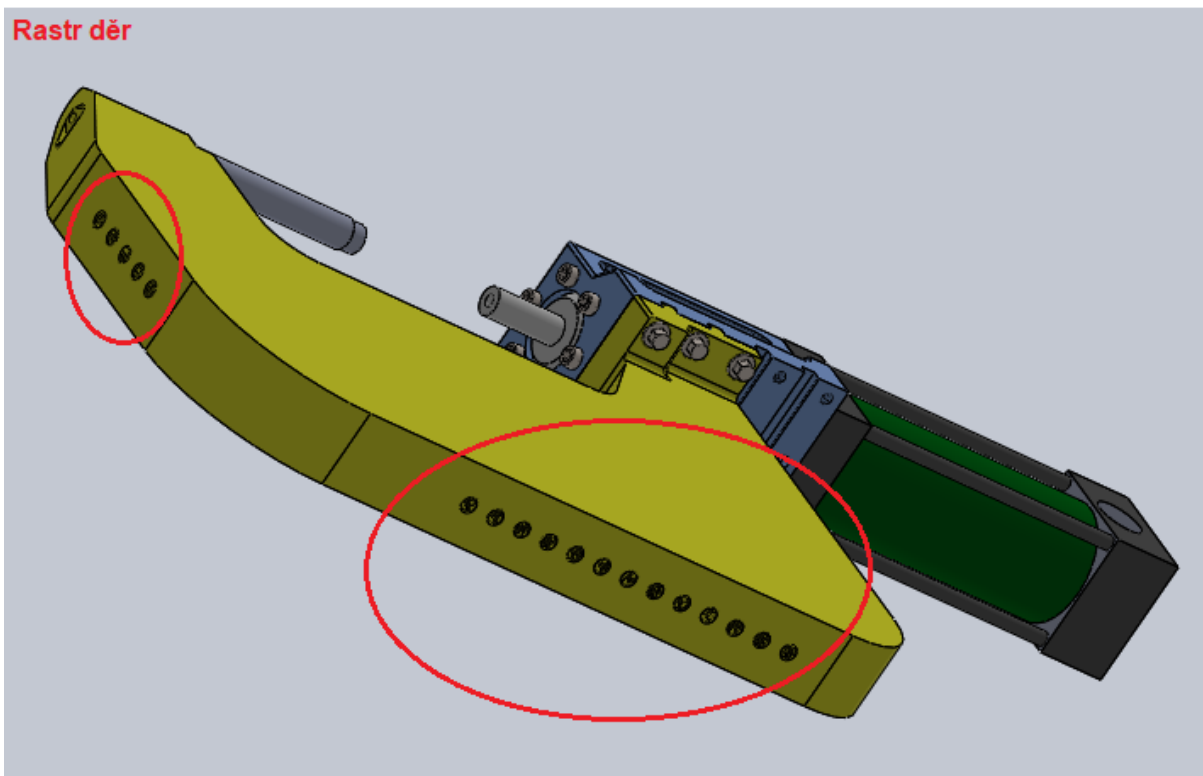
Obrázek 63 Maximální rozměry profilů o tloušťce stěny 3 mm

Pokud by však neměly být nýtovány profily, ale pouze tenké plechy, nebyly by kleště vhodné. Délky cyklu by totiž kvůli vysokému zdvihu válce o 100 mm trvaly příliš dlouho. Proto byl navržen modulární systém, který zajistí mezikus připojení. V tomto mezikusu bude možno polohovat C-rám kleští o vzdálenost 35 mm a 70 mm. Dále byl navrhnut systém podložek, kterými půjde zajistit ještě větší přiblížení nástrojů. Je jisté, že čím kratší zdvih pracovní píst vykoná, tím rychlejší bude doba jednoho cyklu. K přenesení napěťových sil z C-rámu na mezikus slouží dvě žebra společně se šrouby.



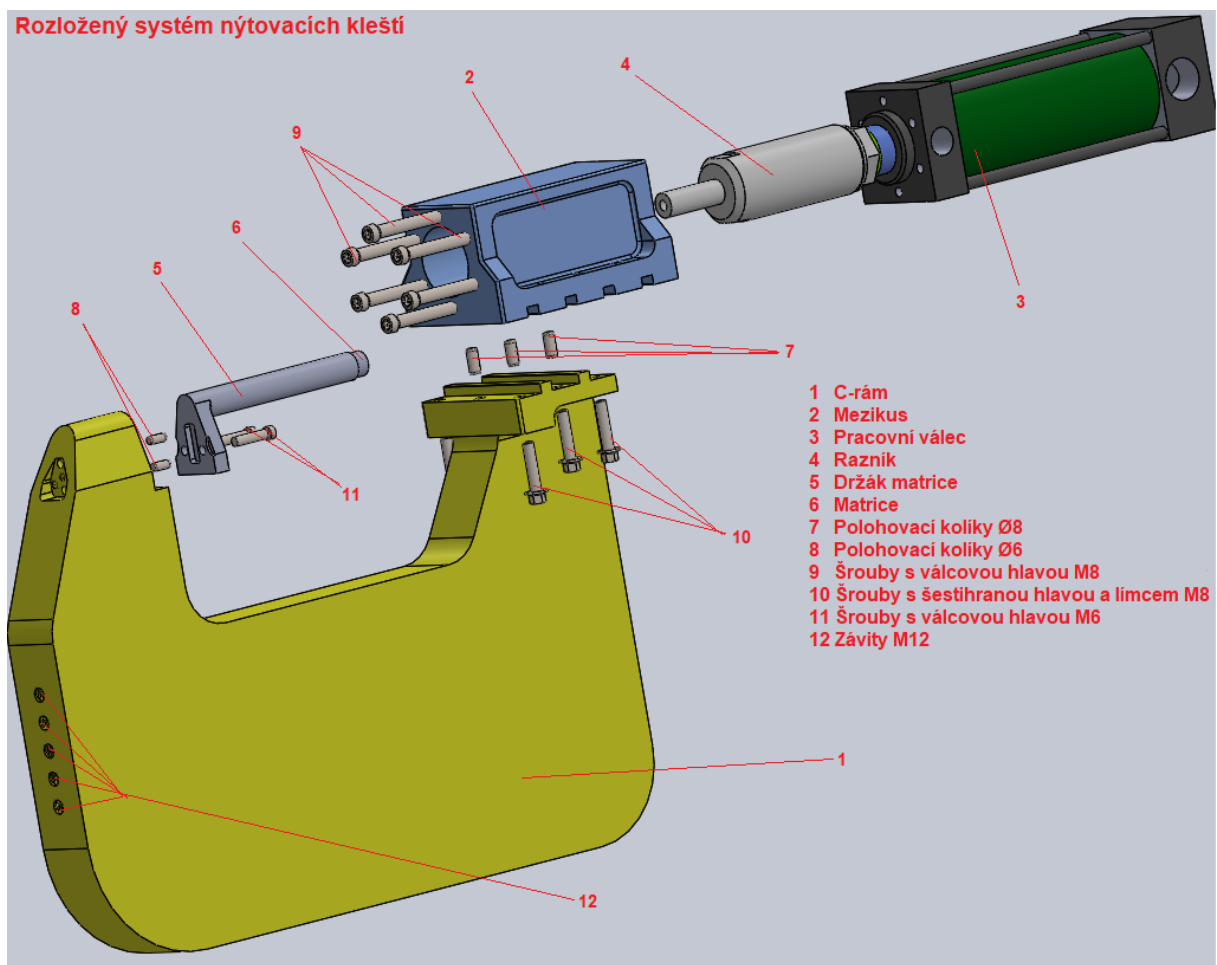
Obrázek 64 Polohování kleští

Protože budou kleště z důvodu univerzálnosti větší, a tudíž i těžší, byl po obvodu C-rámu navržen rastr děr (**Obrázek 65**) se závitem o velikosti M14, pro možné připojení závěsného oka. Závěsné oko pak může sloužit k připojení kleští například k balanceru. Díry se závitem bude dále možno použít k připojení kleští ke stolu či jiné konstrukci. A v neposlední řadě mohou sloužit pro připojení model.



Obrázek 65 Rastr děr po obvodu C-rámu

Rozložený celý systém nýtovacích kleští je na (Obrázek 66). Jsou zde uvedeny veškeré šrouby i polohovací kolíky. Mezikus spojuje s hydraulickým pracovním válcem šest šroubů s válcovou hlavou M8x180 mm. Tři kusy kolíků Ø 8x16 mm slouží k zajištění přesné polohy C-rámu k mezikusu. Mezikus a C-Rám spojují dva šrouby M8x50 mm a čtyři šrouby M8x45mm. Dva kolíky Ø 6x12 mm slouží k zajištění polohy matrice k C-rámu. C-rám a držák matrice pak spojují dva šrouby M6x30 mm. Výkresová dokumentace mnou navržených dílů je součástí příloh.



Obrázek 66 Rozložený systém nýtovacích kleští

2.5.1 Ověření tuhosti C-rámu nýtovacích kleští

Dostatečná tuhost kleští je u nýtování polodutých nýtu zásadní. Důležitý požadavek je na vychýlení pracovního nástroje, ten se nesmí vychýlit o více než 1° . Při vychýlení nástrojové roviny o více než 1° totiž klesá pevnost spoje. Všechny uvedené simulace jsou prováděny pro lisovací sílu 76 kN, neboť je to maximální síla, kterou je pracovní hydraulický válec schopný vyvinout.

2.5.1.1 C-rám z konstrukční oceli

Jako nástroj pro ověření tuhosti byl využit program Workbench 18.0, který je intuitivní a uživatelsky přívětivý. Nejprve byl díl testován pro konstrukční ocel ČSN 11523 o hustotě $7850 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, Youngovým modulem pružnosti 210000 MPa a Poissonovým číslem 0,3.

Ocel ČSN 11523 se využívá na mostní a jiné konstrukce, součásti strojů, automobilů, motocyklů a jízdních kol. Součásti tepelných energetických zařízení a tlakových nádob. Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli ČSN 11523 jsou uvedeny v (*Tabulka 3*).

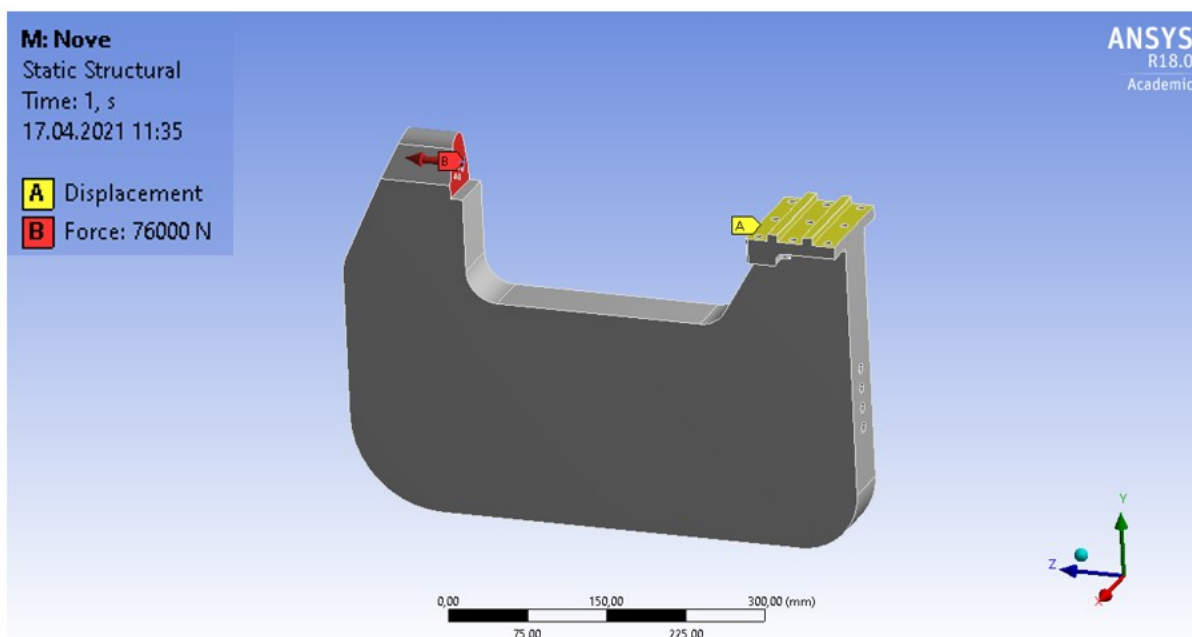
Tabulka 3 Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli ČSN 11523 [40]

<u>Chemické složení (rozbor tavby) v %</u>						
C	Mn	Si	P	S	N	Al
max. 0,200	max. 1,600	max. 0,550	max. 0,050	max. 0,045		max. 0,015

<u>Mechanické vlastnosti</u>		
Mechanické vlastnosti	Provedení	
	tepelně nezpracované	normalizačně žíhané
Pevnost v tahu R_m [MPa]		510 - 680
Mez kluzu R_e [MPa]		min. 355
Tažnost A_{10} [%]		min. 22

Na začátku testování byl model C-rámu kleští naimportován do programu Workbench a byla vytvořena síť modelu. Velikost elementu sítě byla nastavena na 5 mm s tím, že v místech, kde jsou konstrukční vruby čili koncentrátoři napětí, byla síť zjemněna na 1 mm. Jemnější síť nemohla být nastavena, neboť studentská verze dovoluje využít maximálně 200 000 elementů.

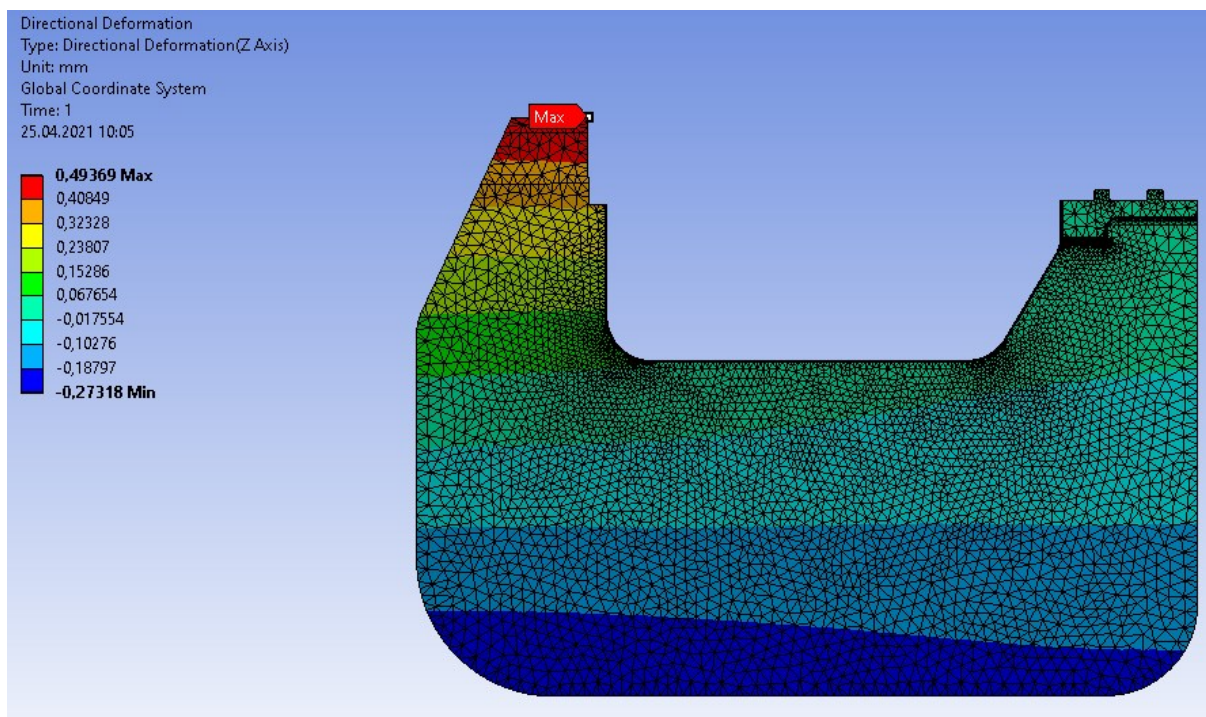
Následně byly vytvořeny okrajové podmínky. Pevná vazba byla vytvořena pomocí funkce displacement. Vazba displacement se používá pro zamezení pohybu plochy v osách. Kde byla do hodnot posunutí v ose x, y, z nastavena 0 mm, tím jsme zajistili nemožnost pohybu ploch ve všech osách. Umístění této vazby bylo zvoleno na plochách, kde je C-rám připojen k mezikusu. Dále byla nastavena síla 76 kN na plochu připojení matrice. Síla 76 kN je v našem případě maximální, neboť je to maximální síla, kterou je náš pracovní válec schopen vytvořit. Polohu vazby displacement a síly lze vidět na (*Obrázek 67*).



Obrázek 67 Poloha síly a vazby displacement (okrajové podmínky)

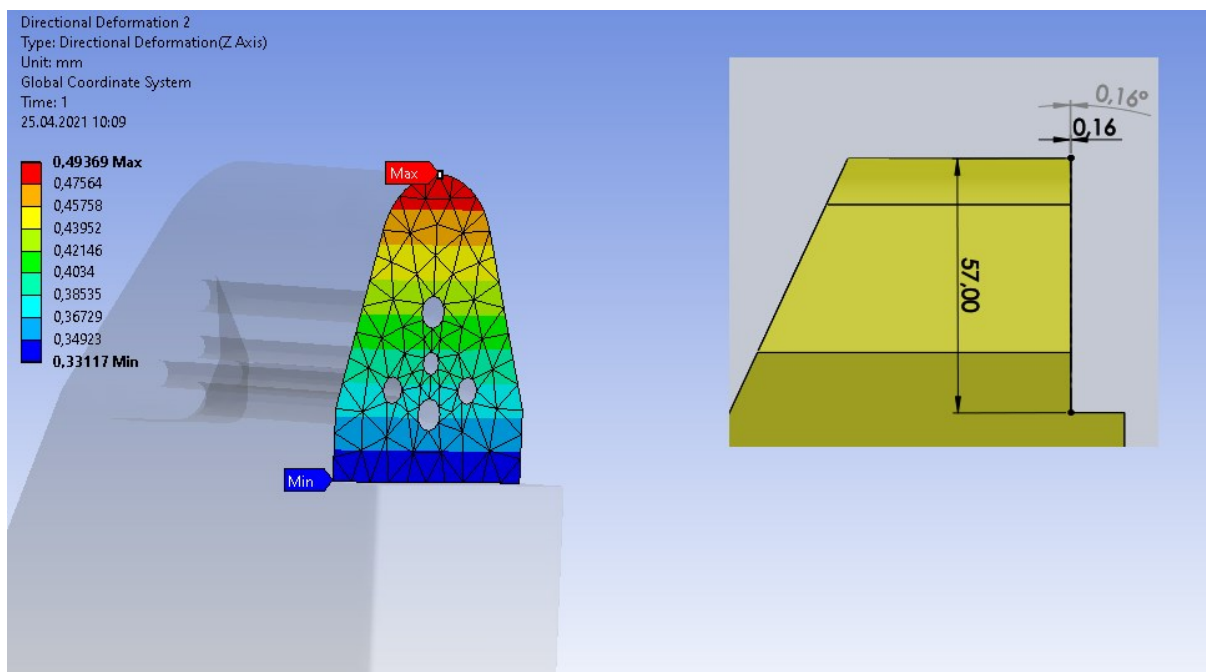
Z dosažených výsledků nás zajímala hodnota posunutí uzlů v ose Z, naklonění roviny nástroje a velikost redukovaného napětí dle HMM hypotézy pro porovnání s mezí kluzu.

Hodnota posunutí uzlů v ose Z viz (**Obrázek 68**). Nejvyšší hodnota posunutí uzlů v ose Z byla naměřena v oblasti plochy, na kterou byla umístěna síla. V této oblasti došlo k největšímu posunutí uzlů v Ose-Z, neboť byla vystavena největšímu zatížení (označená červenou barvou) a její hodnota byla cca 0,49 mm.



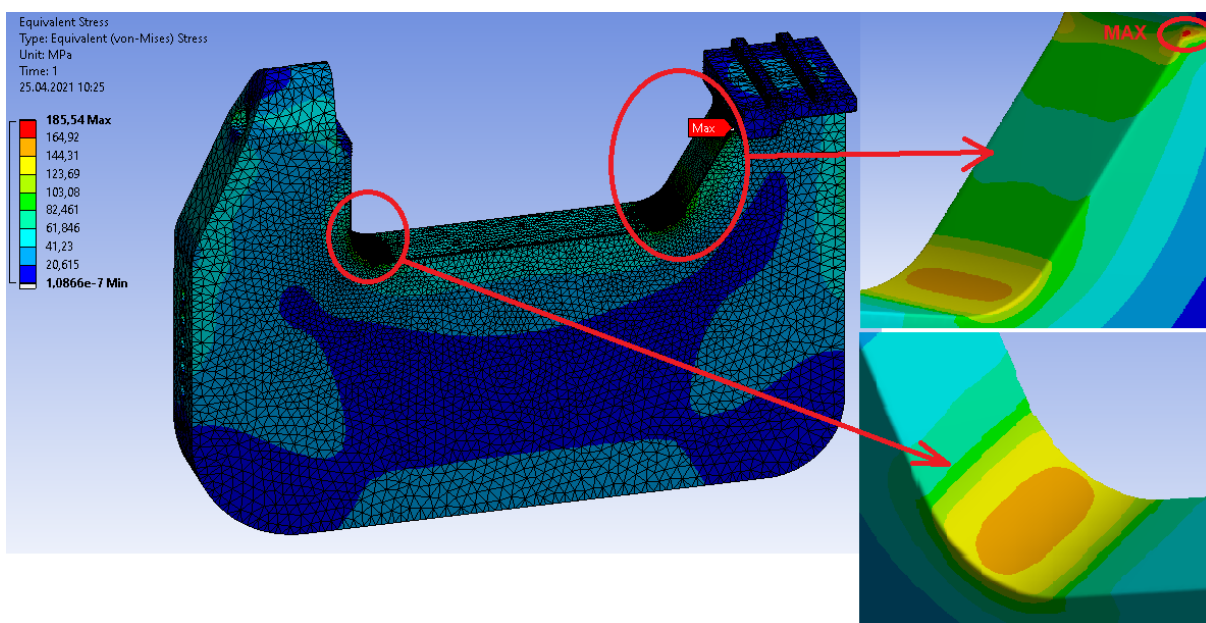
Obrázek 68 Deformace v ose Z

Z hodnoty podélného posunutí uzlů v ose Z je také možno zjistit hodnotu vychýlení plochy pro připevnění nástroje, a tedy vychýlení samotného nástroje. Proto je nutné zobrazit lokální posunutí v oblasti připevnění nástroje viz (**Obrázek 69**). Hodnota posunutí uzlů v této oblasti se pohybuje od 0,33117 mm po 0,49369 mm. Rozdílem maximální a minimální hodnoty posunutí zjistíme naklonění nástrojové roviny. V našem případě je úhel naklonění 0,16°. Tento úhel je vyhovující, protože nepřesahuje hodnotu 1°.



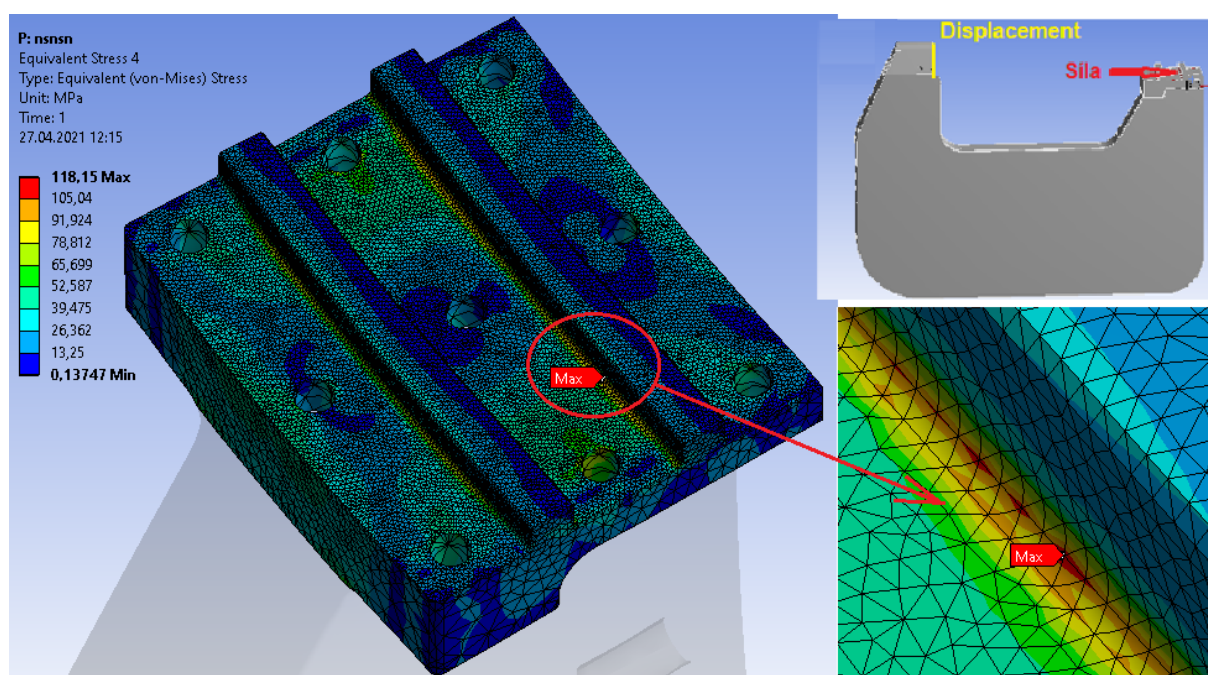
Obrázek 69 Deformace roviny nástroje

Napěťové hodnoty byly vyhodnoceny na základě HMH hypotézy. Hodnoty napětí jsou nejvyšší s rádiusech hrdla a v rádiusech držáku C-rámu (**Obrázek 70**). Je to logické, neboť napětí se vždy kumuluje v místech vrubu, který funguje jako koncentrátor napětí. Maximální hodnota napětí je 185 MPa. vzhledem k tomu, že Ocel 11523 má mez kluzu 355 MPa, je hodnota 185 MPa přípustná.



Obrázek 70 Maximální napětí C-rámu

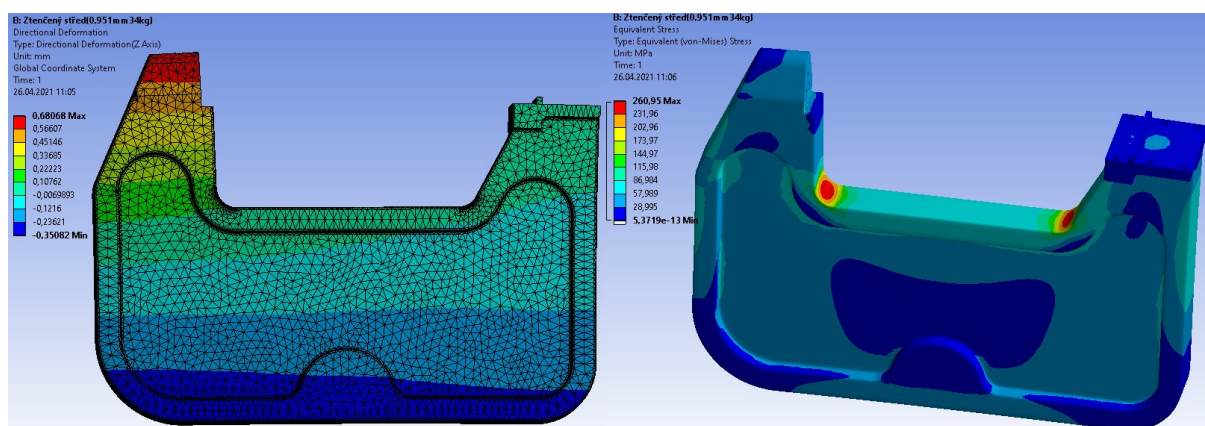
V dalším kroku bylo nutné zjistit, jak velké napětí působí na připojovací žebra. Toto napětí se dá zjistit tak, že síla 76 kN bude nastavena na čelní plochu žeber a děr pro šrouby, neboť i šrouby budou působit jako přenašeče zatížení. Pevná vazba displacement byla umístěna na plochu držáku nástroje. Maximální napětí 118,15 MPa bylo naměřeno ve vrubu zadního žebra (**Obrázek 71**). Je zde možné vidět, že napětí se kumuluje v uzlech sítě (červená barva) Směrem od uzlů ve vrubu napětí rychle klesá. Na hraně vrubu se pohybuje mezi žlutou a zelenou barvou, které mají hodnoty od 65 až 91 MPa. Mez kluzu oceli 11523 je 355 MPa, proto jsou naměřené hodnoty přípustné a žebra jsou schopné přenést silové zatížení 76 kN.



Obrázek 71 Napětí působící na žebra

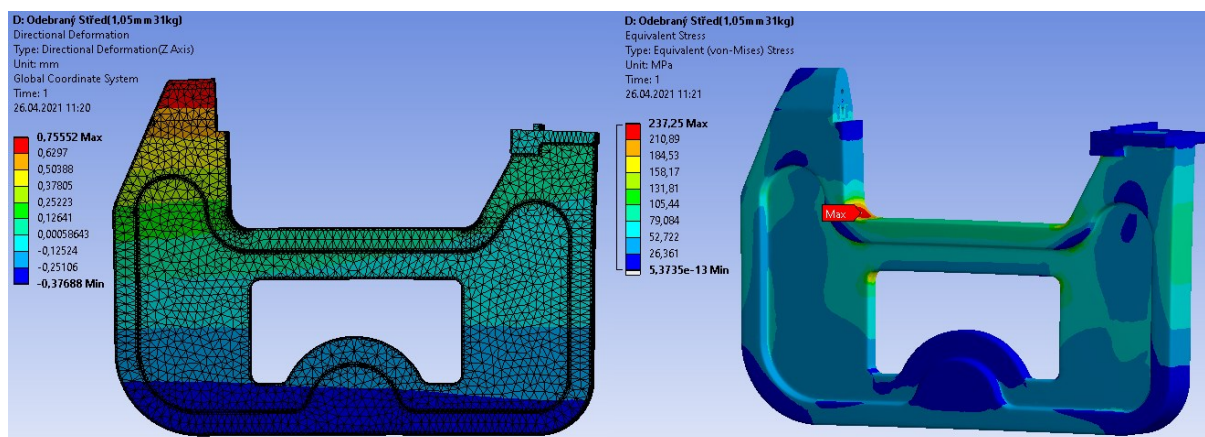
Jelikož výsledné hodnoty deformace a napětí vycházely velice dobře, ale hmotnost C rámu byla 53,6 kg, bylo navrženo několik odlehčených modelů.

První z nich viz (**Obrázek 72**). Tento model disponoval ztenčením průřezu, kde z každé strany bylo odebráno 10 mm materiálu. Střed se tedy ztenčil o 20 mm na tloušťku 30 mm a hmotnost snížila na 34 kg. Deformace v ose Z se pak zvýšila na 0,68 mm. Napětí v rádiusu hrdla pak stoupl na 260 MPa. Hmotnost již klesla na 34 kg a deformace stále v souladu, proto byl navržen další odlehčený model.



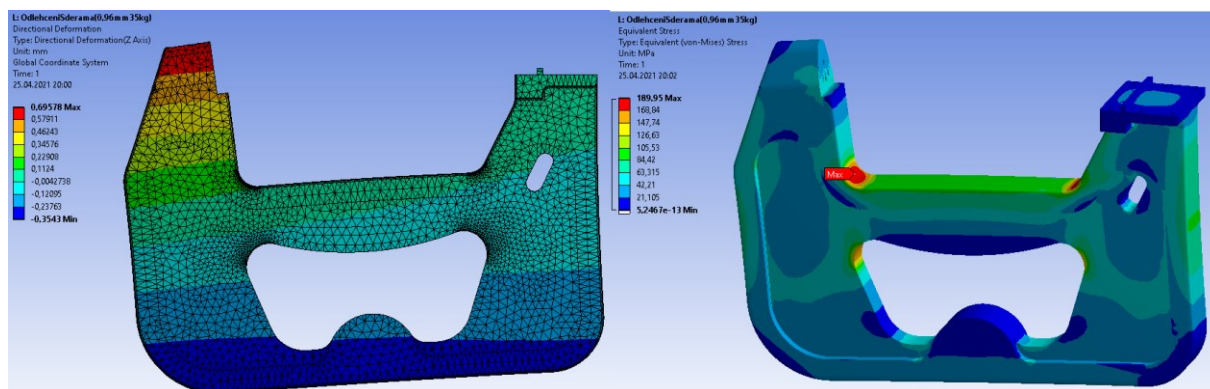
Obrázek 72 Model se ztenčeným prostředkem

Od předchozího modelu byl odebrán prostředek a vznikl model viz. (**Obrázek 73**). Hmotnost modelu se snížila na 31 kg. Deformace v ose Z byla 0,75 mm a napětí na rádiusu hrdla kleslo na 237 MPa. Další model vznikl kvůli vysokému napětí.



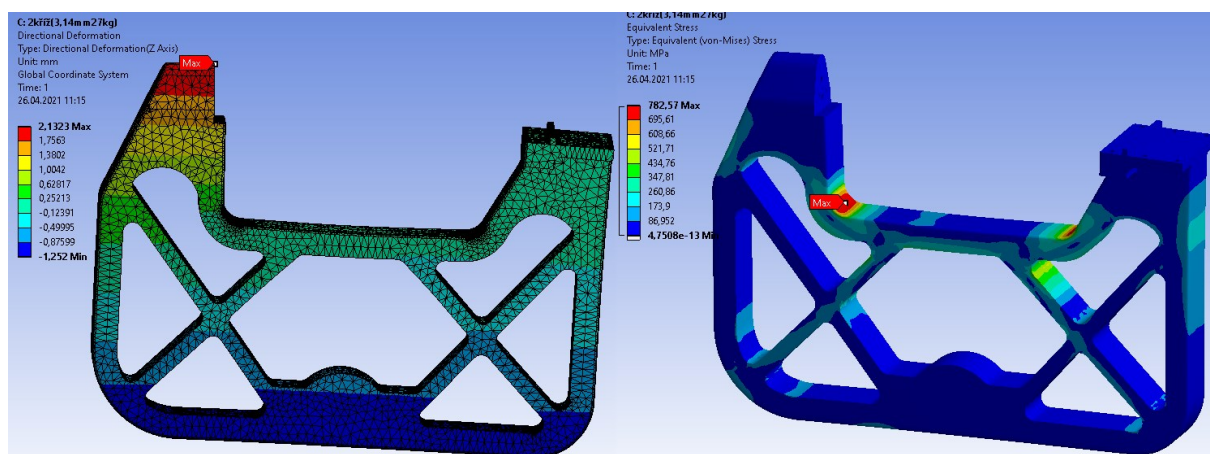
Obrázek 73 Model se ztenčeným středem a odebraným prostředkem

Třetí odlehčený ocelový model má odebraný celý střed těla jako předchozí model, ale liší se jeho tvar viz (**Obrázek 74**). Protože rozměry odebraného středu byly vyšší, než u předchozího modelu byl úběr materiálu ze stran jen 5 mm místo předchozích 10 mm (tloušťka středu je 40 mm). Porovnáme výsledky s předchozí variantou. Podélná deformace v ose Z klesla na 0,69 mm z 0,75 mm a napětí kleslo na 189 MPa z 237 MPa. Hmotnost ale narostla na 35 kg z předchozích 31 kg.



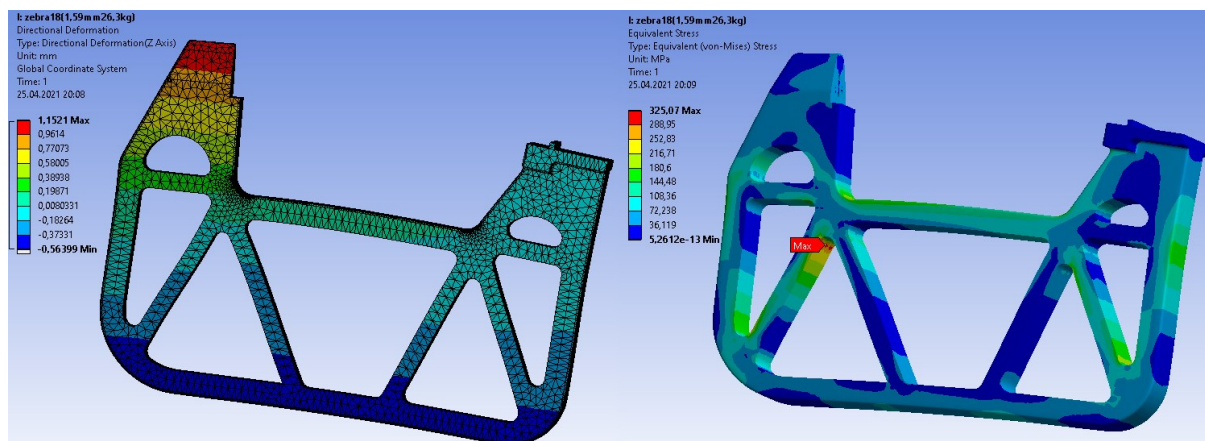
Obrázek 74 Model s odebraným středem a malým vybráním stran

U čtvrtého ocelového modelu byl odebrán celý střed, který byl následně vyztužen žebrovou konstrukcí tvaru X (**Obrázek 75**). Tento typ odlehčení nebyl příliš vhodný. Porovnáme hodnoty s předešlým modelem. Deformace v ose Z narostla na 2,1 mm z 0,69 mm a napětí v rádiusu hrdla vylétlo až na 782 MPa oproti 189 MPa. předešlého modelu. Hmotnost pak klesla na 27 kg. Kvůli napětí na rádiusu vznikl další odlehčený model, který má napětí eliminovat.



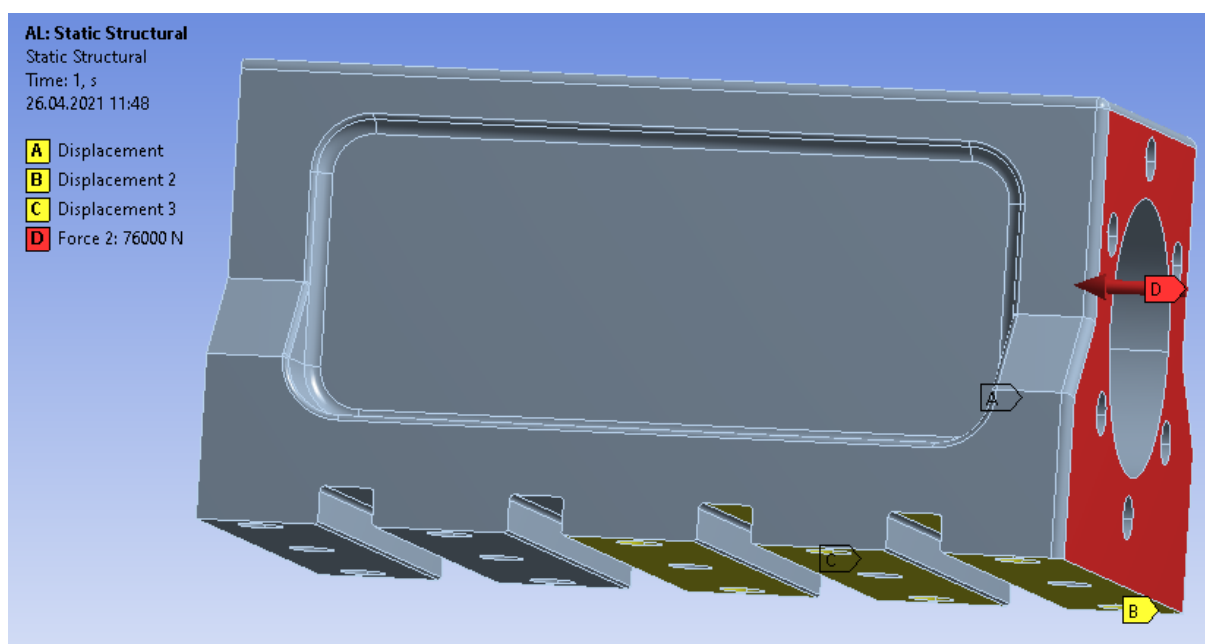
Obrázek 75 Model s křížovým žebry

Pátý a poslední odlehčený model (**Obrázek 76**) eliminoval napětí předchozího modelu v rádiusu hrdla, naneštěstí vznikalo vysoké napětí na jednom z předních žebër. Maximální napětí na tomto žebru bylo 325 MPa. Podélná deformace v ose Z klesla oproti předchozímu modelu na hodnotu 1,15 mm.



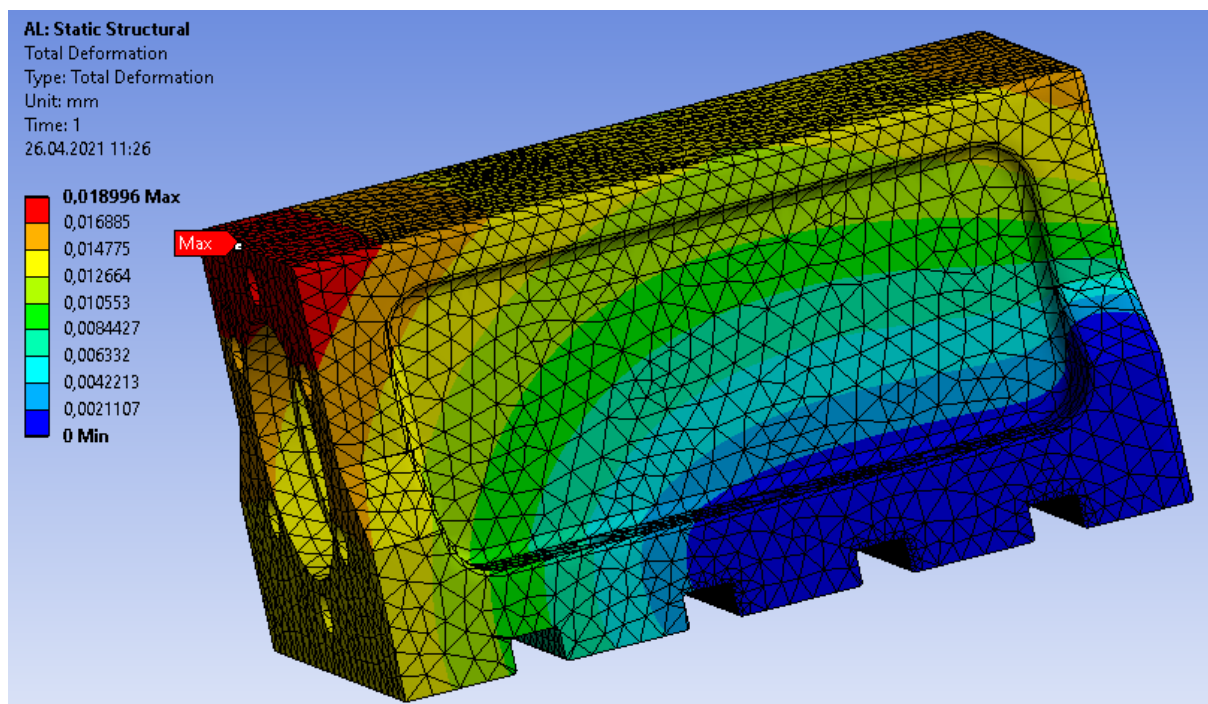
Obrázek 76 Model s žebrováním od rádiusu hrdla

Nakonec je nutné změřit napětí v drážkách pro žebra na mezikusu. Okrajové podmínky byly nastaveny viz (**Obrázek 77**). Vazba displacement byla nastavena na plochu, které je v kontaktu s C-rámem. Silové zatížení bylo nastaveno na plochu, kde je mezikus šrouby připevněn k hydraulickému pracovnímu válci. Síla použitá na zatížení je opět 76 kN.



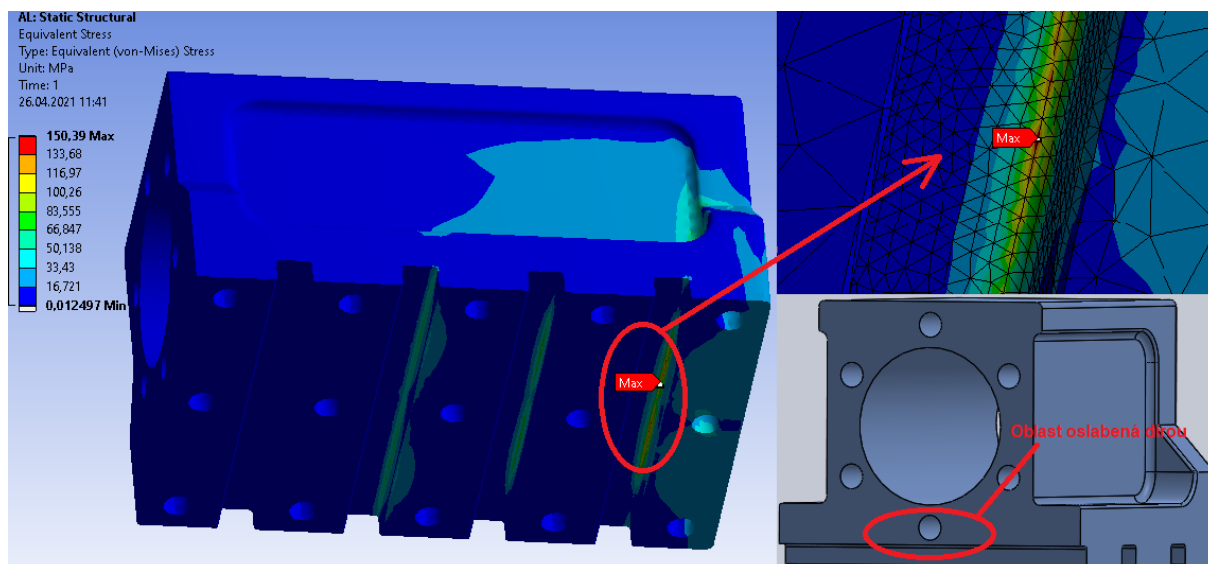
Obrázek 77 Dsiplacement vazba a silové zatížení na mezikusu

Celková deformace mezikusu viz (**Obrázek 78**). Mezikus se nedeformuje téměř vůbec. Maximální hodnota deformace je 0,019 mm, což je hodnota tak nízká, že je možné ji zanedbat.



Obrázek 78 Celková deformace mezikusu

Nejvyšší hodnota napětí byla naměřena na vrubu žebra, který funguje jako koncentrátor napětí. Tato hodnota byla 150 MPa a vznikala okolo středu drážky žebra. Nejvyšší napětí vznikalo v této oblasti proto, že je zde oslabený průřez dírou pro upevnění mezikusu.



Obrázek 79 Nejvyšší naměřené napětí na mezikusu

Celková hmotnost C-rámu bez odlehčení (53,6 kg) a mezikusu (5,5 kg) je 59,1 kg. Pokud by měl být doporučen jeden z odlehčených modelů byl by to model odebraným středem viz (**Obrázek 74**). Hmotnost tohoto odlehčeného modelu byla 35 kg, společně s mezikusem pak 40,5 kg. Jelikož dosažené výsledky C-rámu z oceli ČSN 11533 bez odlehčení dopadly velice uspokojivě, byl tento model testován pro vysokopevnostní slitinu hliníku ENAW 7075 T651.

2.5.1.2 C-rám ze slitiny hliníku ENAW 7075 T651

Tuhostní testování C-rámu z vysokopevnostní slitiny hliníku ENAW 7075, který má hustotu $2800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, Youngův modu pružnosti $71\,000 \text{ MPa}$ a Poissonovým číslem 0,33. [34]

Jedná se o hliníkovou slitinu tvářenou za studena. Stav T651 znamená, že proběhlo rozpouštěcí žhání, uvolnění vnitřního pnutí, vypnutí na přesnou velikost a přirozené stárnutí. Chemické složení hliníkové slitiny viz (**Tabulka 4**).

Tabulka 4 Chemické složení ENAW 7075 [34]

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti+Zr	Al
min.	-	-	1,20	-	2,10	0,18	5,10	-	Zbytek
max.	0,40	0,50	2,00	0,30	2,90	0,28	6,10	0,20	

Slitina hliníku EN AW 7075 T651 má vysokou mez pevnosti v tahu a kluzu. K vůli tomu se slitina používá na vysoce namáhané konstrukční díly např.: ozubená kola, hřídele, šnekové převody a další. Materiál nemá dobrou odolnost vůči korozi a není vhodný ke svařování. Tento materiál je zároveň velice vhodný k třískovému obrábění. Veškeré mechanické a fyzikální vlastnosti jsou uvedeny na (**Obrázek 80**).

Physical Properties

Density	[g/cm ³]	2,80
Module of elasticity	[GPa]	71
Electrical conductivity	[m / Ω · mm ²]	19-23
Coefficient of thermal expansion	[K ⁻¹ · 10 ⁻⁶]	23,4
Thermal conductivity	[W/m · K]	130 - 160
Specific heat capacity	[J/kg · K]	862

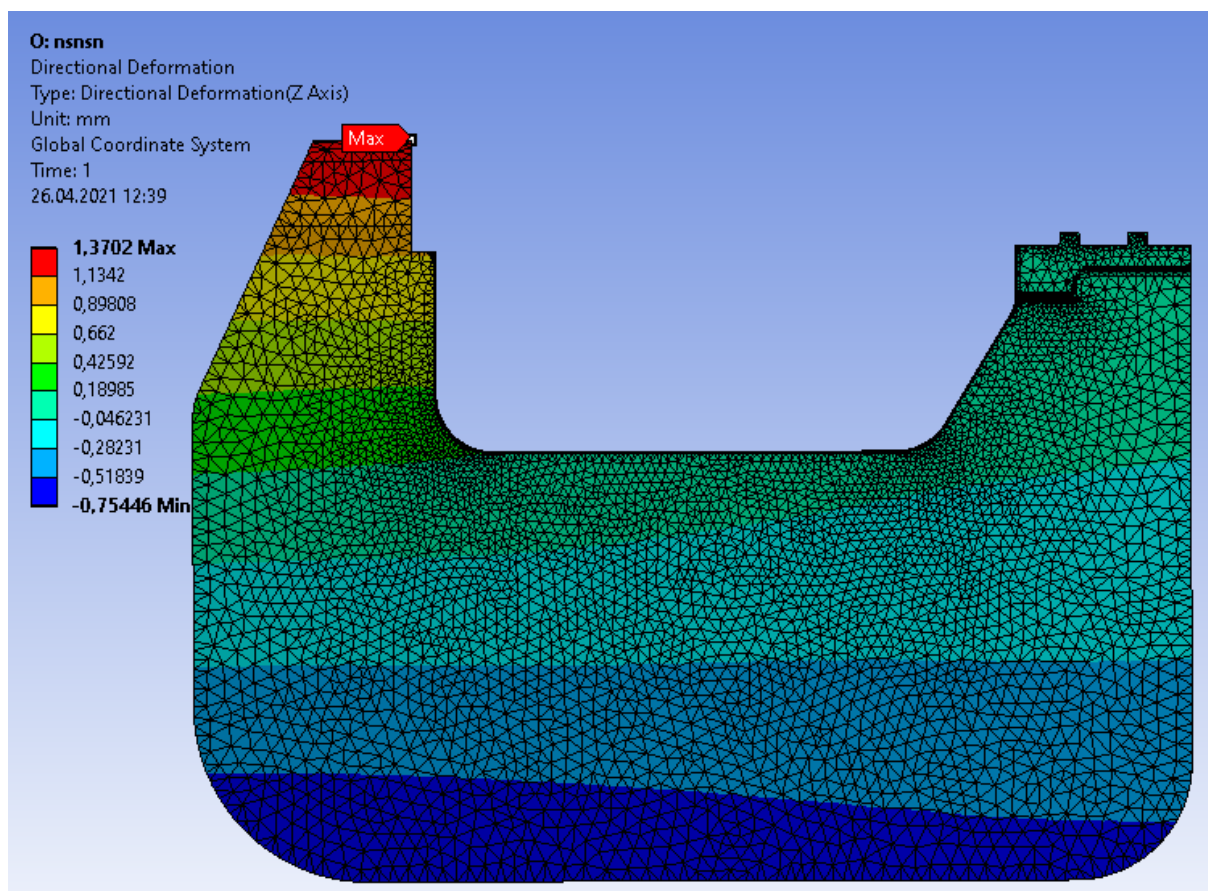
Mechanical Properties

		typical values ¹⁾
Yield strength R _{p0,2}	[MPa]	470 - 390
Ultimate tensile strength R _t	[MPa]	540 - 480
Elongation A ₅₀	[%]	6-2
Hardness HBW	[2,5/62,5]	160 -130

Obrázek 80 Základní fyzikální a mechanické vlastnosti ENAW 7075 [35]

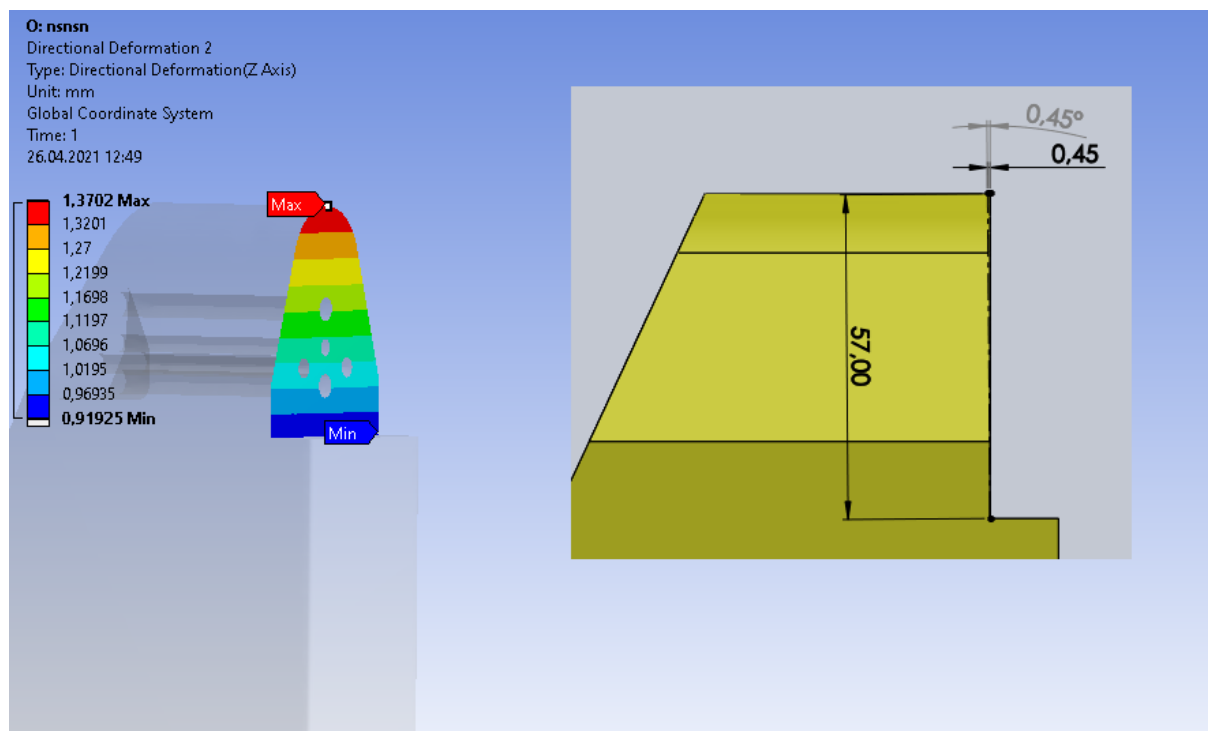
Průběh ověřování tuhosti byl stejný jako u modelu z konstrukční oceli. Nejprve byl vložen model C-rámu do programu Workbench. Okrajové podmínky a jejich polohy pevné vazby a působící síly se nezměnily a jsou stejné viz (**Obrázek 67**). Výsledky testů již pak odlišné.

Posunutí uzlů C-rámu ve směru osy Z viz (**Obrázek 81**). Posunutí uzlů C – rámu v ose Z byl 1,37 mm. Tato deformace je vyšší, než tomu bylo u ocelového modelu neodlehčeného modelu (0,49 mm).



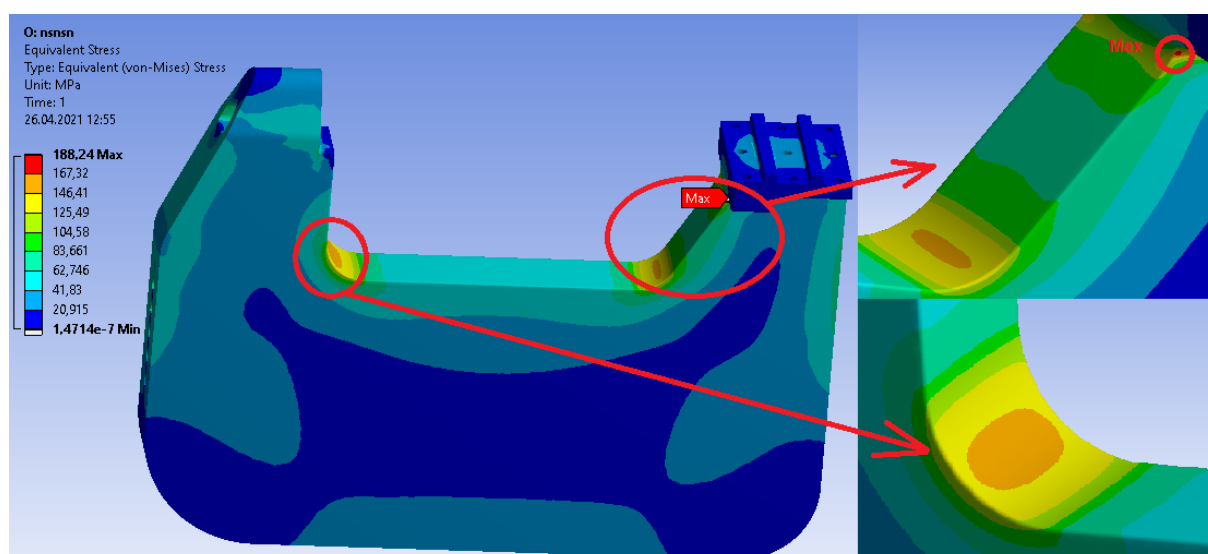
Obrázek 81 Deformace ve směru osy Z

Z posuvu uzlů v ose Z lze jako u předchozího ocelového modelu zjistit naklonění nástrojové roviny (**Obrázek 82**). Z rozdílů maximálního a minimálního posuvu v ose-Z, získáme naklonění roviny. V našem případě je rozdíl 0,45 mm. Pro tento rozdíl je úhel naklonění nástrojové roviny $0,45^\circ$. Tento úhel naklonění je větší než u ocelového neodlehčeného modelu ($0,16^\circ$), ale nepřesahuje maximální povolený 1° .



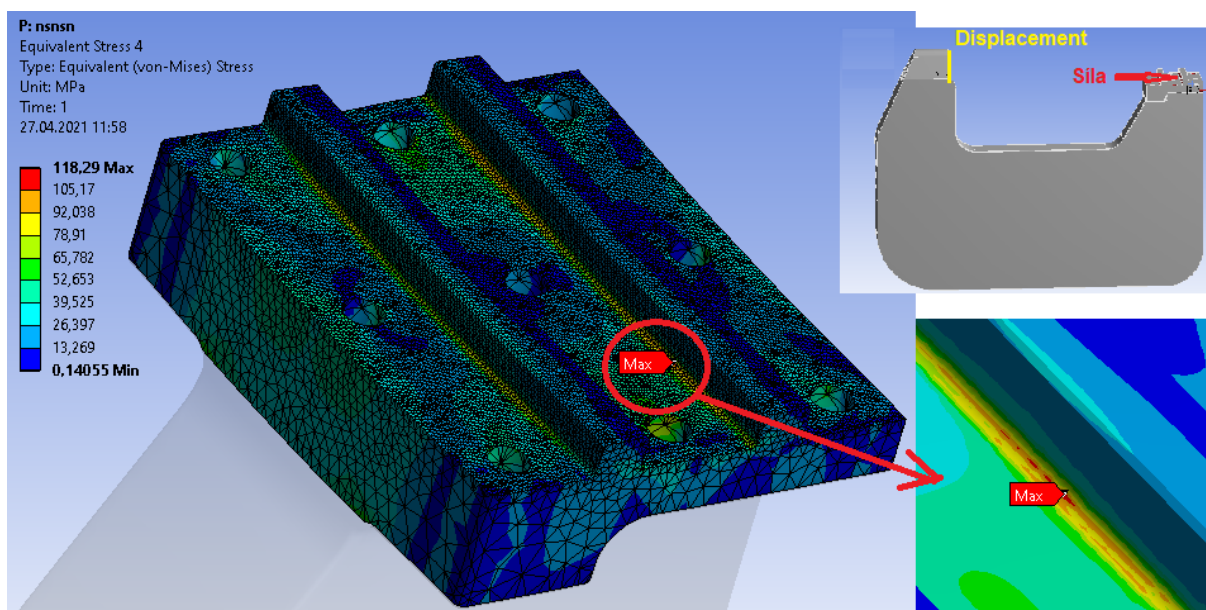
Obrázek 82 Deformace roviny nástroje

Napětí modelu ze slitiny hliníku EN AW 7075 T651 (**Obrázek 83**) dle HMH hypotézy je téměř totožné jako u ocelového neodlehčeného modelu (185 MPa). Taktéž se nejvyšší hodnoty koncentrují v rádiusech hrdla rámu a v rádiusu držáku rámu. Maximální hodnota napětí byla 188 MPa. Minimální mez kluzu slitiny EN AW je 390 MPa. Napětí 188 MPa je tedy slitina hliníku EN AW 7075 T651 schopná přenést.



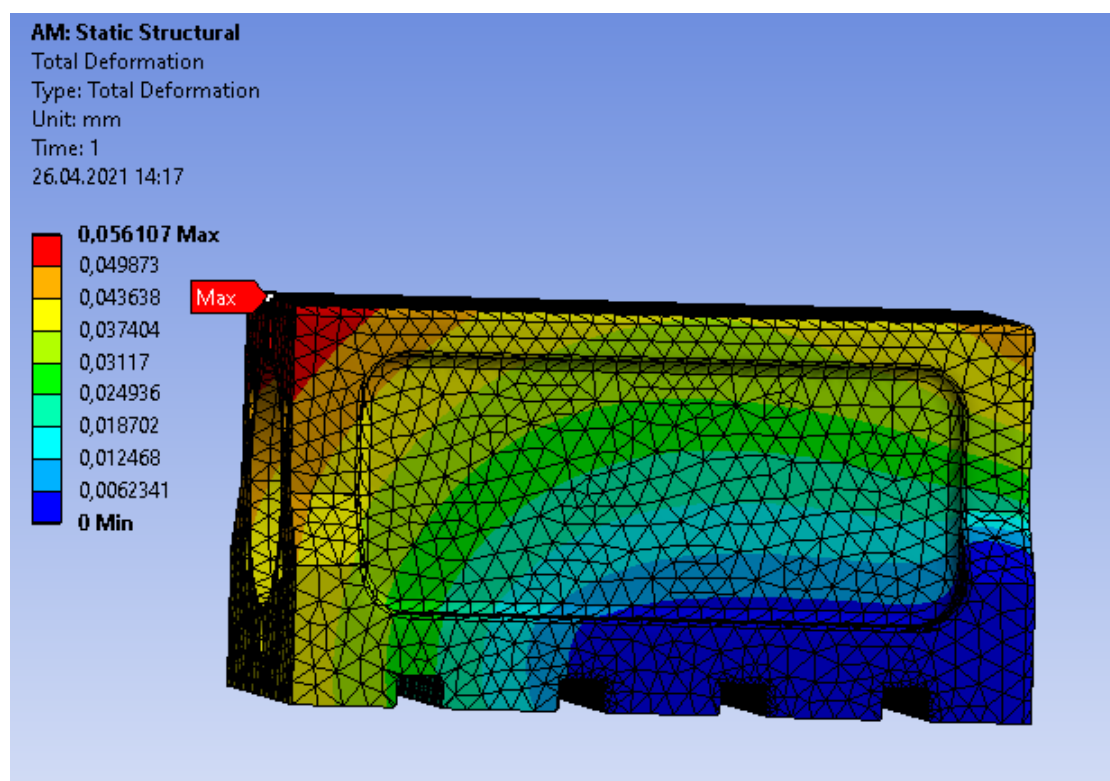
Obrázek 83 Maximální napětí C-rámu

Tak jako u modelu z oceli bylo nutné změřit napětí na žebrech. Vazba displacement byly umístěna na plochu pro matrici. Působící síla byla nastavena na čelní plochu žebek a děr pro šrouby. Maximální hodnoty napětí ocelového a hliníkového modelu se téměř shodují. Maximální hodnota 118,29 MPa byla naměřena na vrubu zadního žebra, který funguje jako koncentrátor napětí (červená barva). Směrem od středu vrubu se napětí snižuje. Na okraji vrubu je již napětí značně menší a to 65 až 92MPa (žlutá a zelená barva).



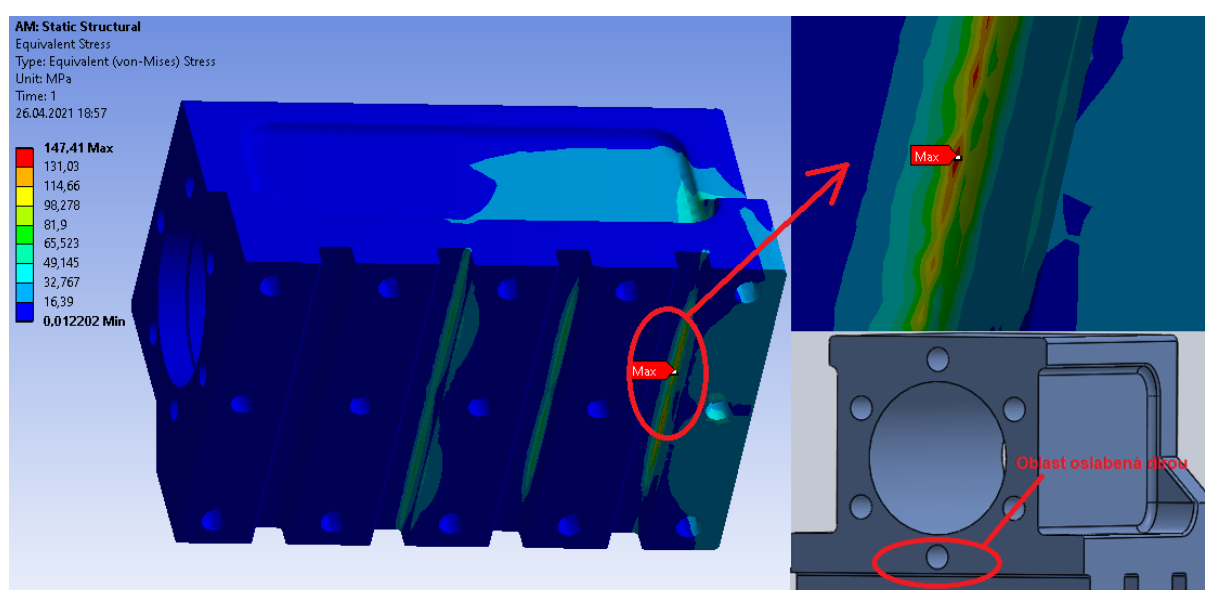
Obrázek 84 Napětí působící na žebra

Dále je ověřena tuhost připojovacího mezikusu. Vazby a působící síla byly nastaveny jako při zkouškách ocelového modelu viz (**Obrázek 77**). Celkové posunutí uzlů se zvýšilo oproti ocelovému (0,019 mm) modelu na 0,056 mm. Tato hodnota je stále tak malá, že může být zanedbána.



Obrázek 85 Celková deformace mezikusu

Maximální napětí na mezikusu bylo 147 MPa. Toto napětí bylo naměřeno na vrubu drážky pro žebro, ve stejných místech jako u měření modelu z oceli. Maximální hodnoty napětí se koncentrují v této oblasti z důvodu oslabení materiálu dírou pro připojení mezikusu k hydraulickému válci.



Obrázek 86 Hodnoty napětí při silovém zatížení mezikusu

Ověření modelu pro slitinu hliníku EN AW také prošlo tuhostní zkouškou. Celkové posunutí uzlů v ose-Z je 1,37 mm. Naklonění plochy pro připojení matrice o hodnotě 0,42° je také v souladu s maximálním možným nakloněním o 1°. Celková hmotnost C-rámu (19,14 kg) a mezikusu (1,95 kg) je 21,09 kg. Při splnění všech tuhostních požadavků má hliníkový model téměř poloviční hmotnost oproti ocelovému odlehčenému modelu (40,5 kg) a téměř třetinová oproti neodlehčenému ocelovému modelu (59,1 kg). Veškeré získané hodnoty jsou v (**Tabulka 5**).

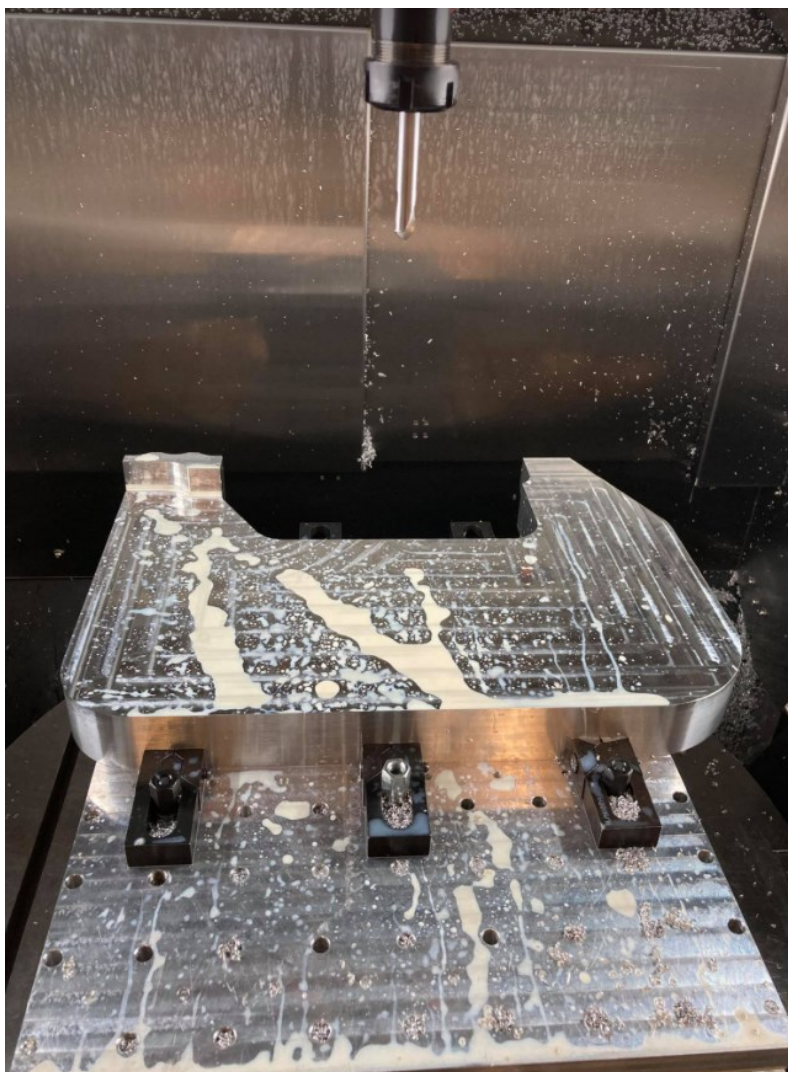
Tabulka 5 Souhrn naměřených hodnot

Model z materiálu	Posunutí ve směru nýtování (osa Z) [mm]	Naklonění roviny nástroje [°]	Celková hmotnost [kg]	Maximální napětí [MPa]
ocel ČSN 11523	0,49	0,16	59,1	185
ocel ČSN 11523 (odlehčený model)	0,69	0,22	40,5	189
slitina hliníku EN AW 7075 T651	1,37	0,45	21	188

2.6 Výroba nýtovacích kleští

Při simulacích tuhosti vykazovaly kleště z materiálu ENAW 7075 T651 dobrou tuhost ke hmotnosti, což vedlo k rozhodnutí, že právě z tohoto materiálu se kleště obrobí. Slitina hliníku EN AW 7075 je dobře obrobitelná. Polotovary jsou dobře dostupné a jsou bez pálených hran. Hliník také vykazuje lepší korozní odolnost než ocel bez nutnosti povrchové úpravy.

Obrábění kleští probíhalo na půdě naší katedry. Kleště byly obrobeny na základě CAD/CAM modelu na pětiosém obráběcím centru Litz Lu 800 s naklápacím stolem. K upnutí polotovaru bylo využito strojního svěráku a speciální upínací děrovaný kvádr s upínkami. Obrábění polotovaru C-rámu upnutého upínky je na (**Obrázek 87**). Upnutí musí být dostatečně pevné, aby během obrábění nedošlo k pohybu obrobku.



Obrázek 87 Obrábění C-rámu

Po dokončení obrábění jednotlivých dílů systému kleští, došlo k jejich ohranění za pomoci speciálních škrabacích nástrojů od výrobce NOGA. Tyto nástroje jsou určeny ke zkosení hran obrobku. Dále byly za pomoci závitníku pročištěny závity. (**Obrázek 88**).



Obrázek 88 Dokončovací pracovní nástroje

3 Návrh aplikace nýtování polodutými nýty a ověření konstrukčního návrhu

3.1 Kompletní sestavení nýtovacího zařízení

Poté co byly obrobky, očištěny došlo k jejich montáži k hydraulickému pracovnímu válci. Celý nýtovací systém je na (*Obrázek 89*).

Systém se skládá z:

1. Přívodu vzduchu

2. Ovladače (spínače)

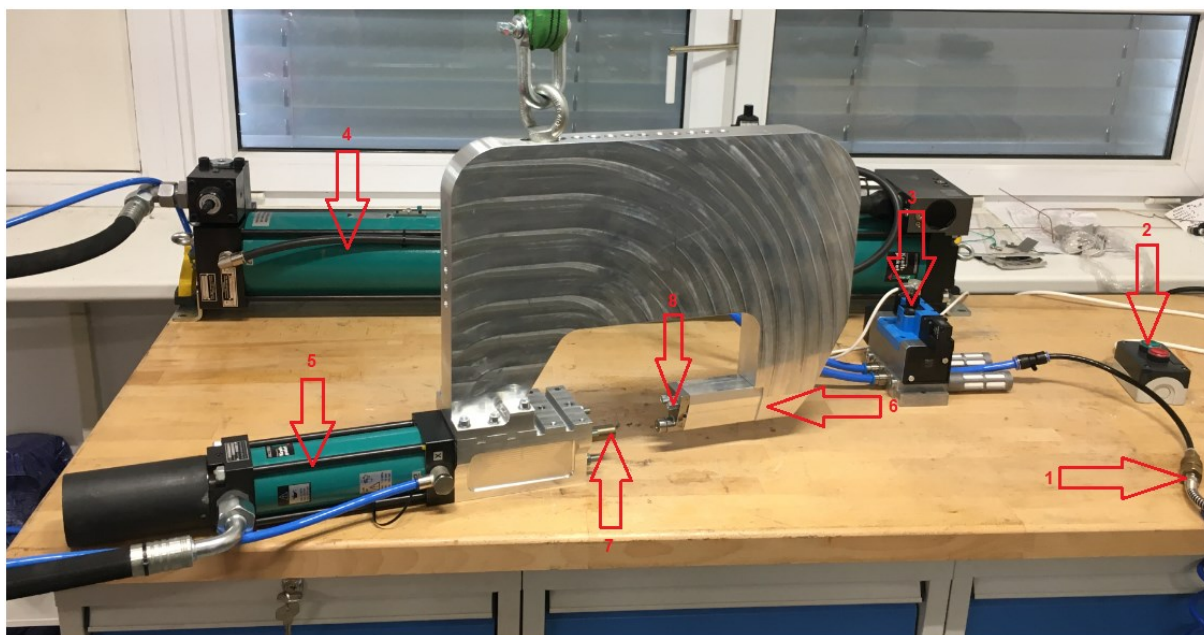
3. Elektromagnetického ventilu Festo (MEBH-5/2-D-3-ZSR-FR-C)

4. Hlavního pneumaticko-hydraulického válce (X-ES 125.000.0123.48)

5. Pracovního hydraulického válce (HZL 07.101.100.00)

6. Nýtovacích kleští

Pro pracovní cyklus se nejprve musí nastavit tlak vzduchu, který bude dodáván do systému. Tento tlak se nastavuje za pomoci redukčního ventilu, který je umístěn na přívodu vzduchu (1) před elektromagnetickým ventilem (3). Spuštění pracovního zdvihu zajišťuje jednoduché ovládací zařízení (2). Ovládací tlačítko musí být stlačeno po celou dobu cyklu. Při stisknutí tlačítka ovladače (2) dostane elektromagnetický ventil (3) impuls k otevření vzduchového ventilu a dojde ke vpuštění vzduchu do hlavního pneumaticko-hydraulického válce (4). V hlavním pneumaticko-hydraulickém válci (4) dojde k multiplikaci tlaku. Multiplikovaný tlak je doveden přes hydraulickou hadici naplněnou hydraulickým olejem k pracovnímu hydraulickému válci (5). Píst vykoná pohyb vpřed a za pomoci matrice (8) a razníku (7) vytvoří nýtový spoj. Jakmile je spoj vytvořen musí být tlačítko ovladače (2) uvolněno. Tím dojde k uzavření ventilu přívodu vzduchu a otevření ventilu pro odvětrávání pracovních komor. Když se odvětrávací ventil otevře, dojde k návratu pístu do výchozí polohy.



- | | |
|--|----------------------------------|
| 1 Přívod vzduchu | 5 Pracovní hydraulický válec HZL |
| 2 Ovládací zařízení (spínač) | 6 Nýtovací kleště |
| 3 Elektromagnetický ventil | 7 Razník |
| 4 Hlavní penumaticko-hydraulický válec | 8 Matrice |

Obrázek 89 Kompletní nýtovací systém

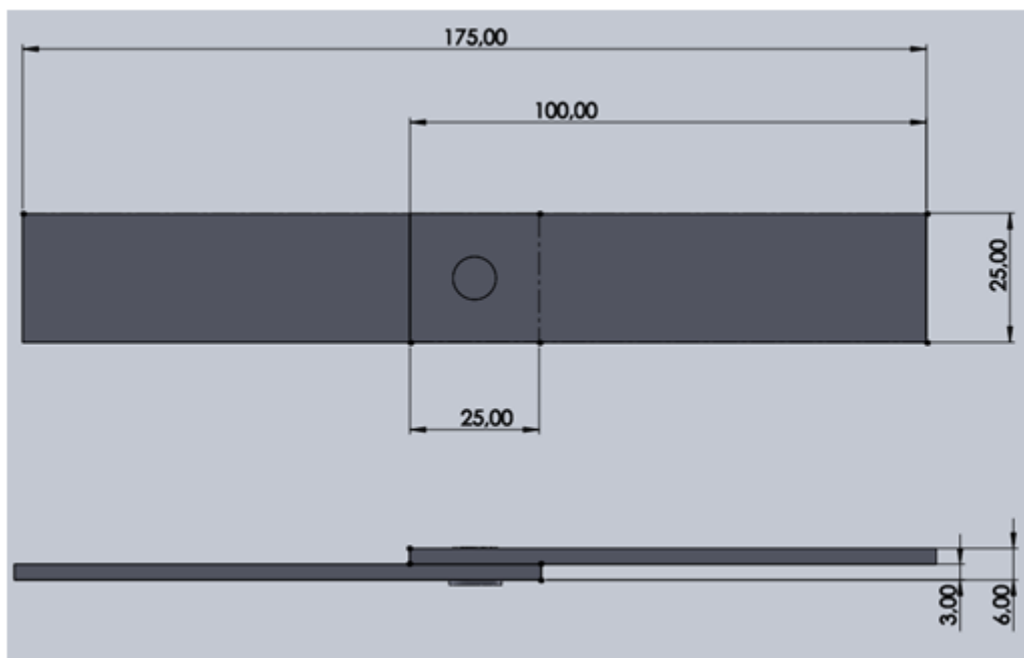
Celková hmotnost kleští s hydraulickým pracovním válcem je 36 kg viz (**Obrázek 90**). Pro tuto hmotnost by bylo dobré pořídit balancer. Balancer zajistí jednoducho manipulaci s nůžkami. Vhodný balancer nabízí například firma TECNA s označením 9366/Heavy.45. Tělo balanceru je z hliníkové slitiny a jeho celková vlastní hmotnost je 12 kg. Nosnost pak 35-45 kg. Nastavení hmotnosti nosnosti se nastavuje skrz šroub. Celková hmotnost balanceru a nýtovacích kleští je 48 kg, což umožní balancer připevnit přímo ke stropu.



Obrázek 90 Hmotnos kleští s hydraulickým pracovním válcem

3.2 Příprava zkušebních vzorků

Hliníkové zkušební plechy ze slitiny ENAW 5754 H111 byly nařezány na CNC stroji laserovým paprskem. Velikost zkušebních vzorků je 100x25x3 mm. Vzorky byly přeloženy o 25 mm a snýtovány dle návrhu na (*Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.*). Polodutý nýt byl umístěn doprostřed překrytí. Polodutý nýt s rozměrem hlavy 5,3 mm a délkou 8 mm s označením SPR 5,30x8,00H4AM H K50844AY00-G02DP byl doporučen firmou TOX.



Obrázek 91 Rozměry zhotovených vzorků

Zkušební plechy jsou ze slitiny hliníku s označením EN AW 5754 H111. Jedná se o slitinu hliníku a magnézia. Vykazuje velice dobrou odolnost vůči korozi. Mechanické vlastnosti EN AW 5754 H111 viz (**Tabulka 6**).

Tabulka 6 Mechanické vlastnosti EN AW 5754 H111 a EN AW 5083 H111 [38, 39]

EN AW 5754 H111

Mechanické vlastnosti		typické hodnoty
Mez kluzu $R_{p0,2}$	[MPa]	80
Pevnost v tahu R_m	[MPa]	190 - 240
Tažnost A_{50}	[%]	16 - 17
Tvrdost HBW	[2,5/62,5]	50

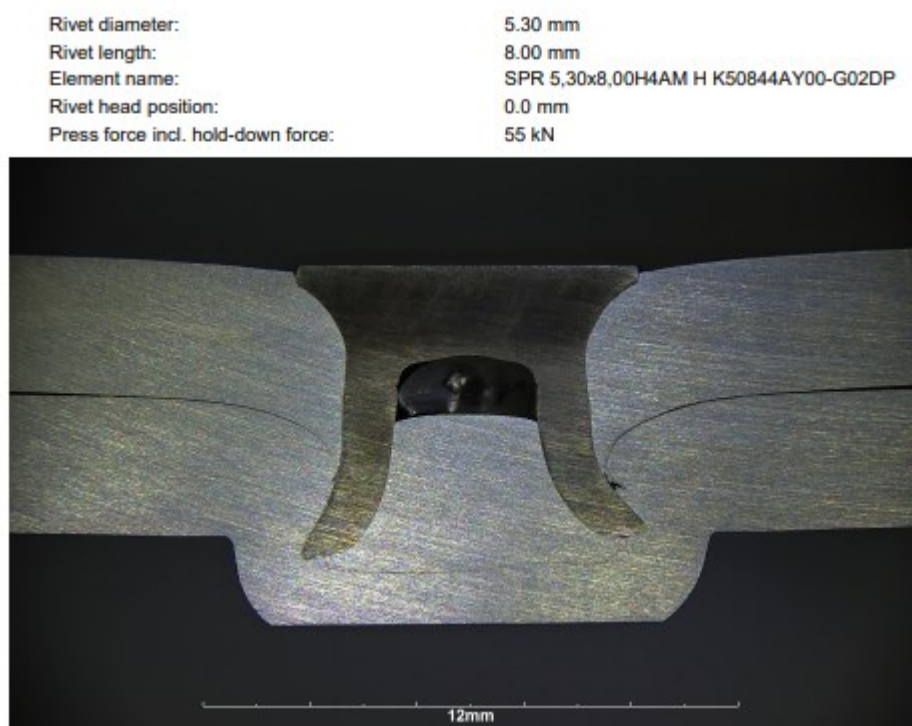
EN AW 5083 H111

Mechanické vlastnosti		typické hodnoty
Mez kluzu $R_{p0,2}$	[MPa]	115 - 125
Pevnost v tahu R_m	[MPa]	270 - 275
Tažnost A_{50}	[%]	14 - 16
Tvrdost HBW	[2,5/62,5]	73 - 75

Použité lisovací síly byly převzaty z reportu od firmy TOX [34]. Tento report nebyl přímo pro slitinu ENAW 5754 H111, ale pro podobnou slitinu hliníku s označením EN AW

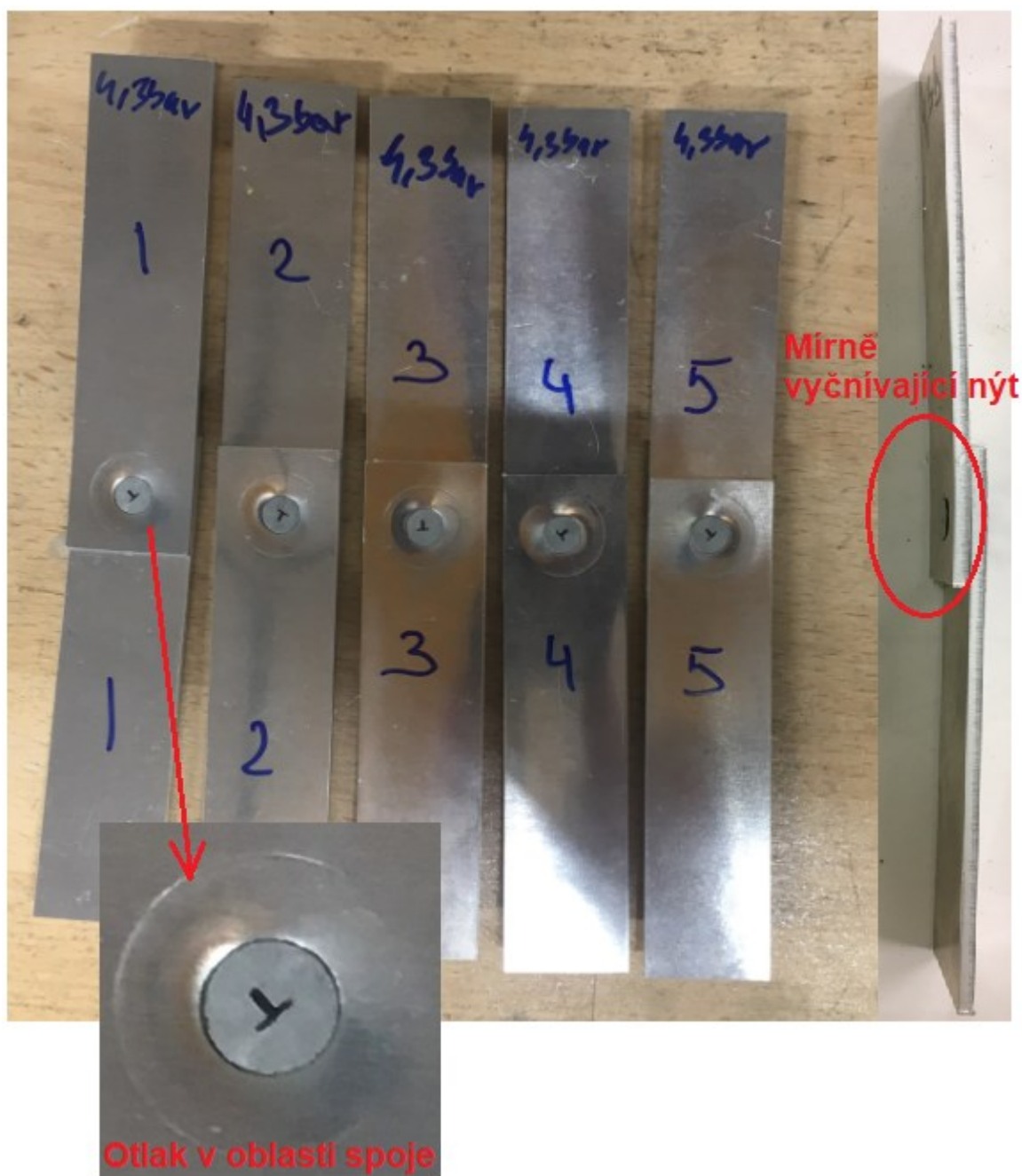
5083 H111. Slitina hliníku EN AW 5083 H111 má mírně vyšší mechanické vlastnosti než slitina EN AW 5754 H111 viz (*Tabulka 6*).

Firma Tox doporučila lisovací sílu 55 kN pro spojení slitiny ENAW 5083 H111, což odpovídá 4,7 bar tlaku vzduchu přivedeného do hlavního pneumaticko-hydraulického válce viz (*Tabulka 2*). Tato nýtovací síla zaručila, že hlava nýtu je v rovině s materiálem (*Obrázek 92*).



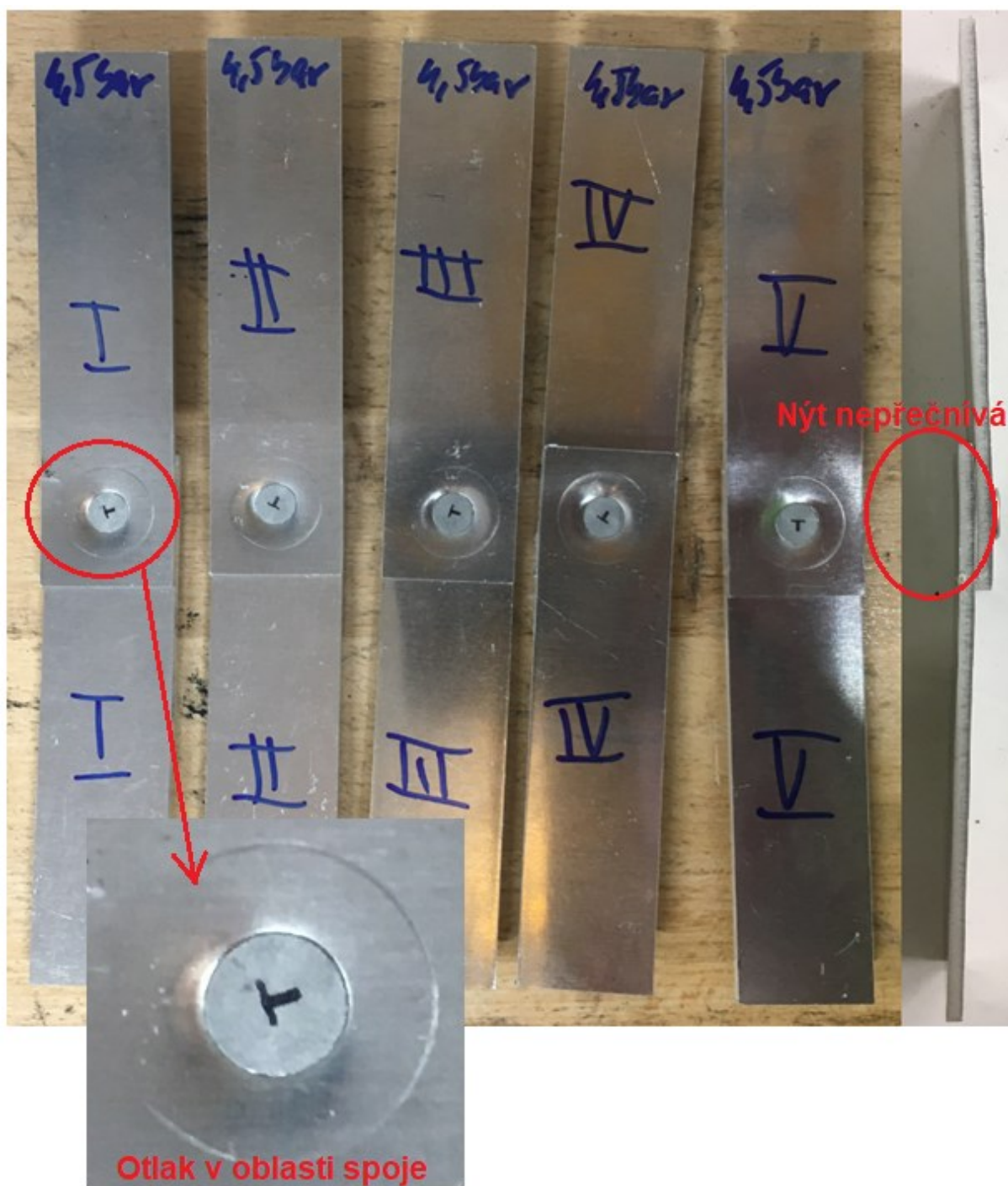
Obrázek 92 TOX doporučené hodnoty [37]

Jelikož mechanické vlastnosti slitiny ENAW 5754 jsou mírně nižší viz (*Tabulka 6*), zvolili jsme nejprve lisovací sílu 50kN, která odpovídá 4,3 baru tlaku vzduchu přivedeného do systému. Při nýtování musely být plechy důkladně vystředěny, aby nýtový spoj vznikl přesně uprostřed. Lisovací silou 50kN bylo vytvořeno 5 zkušebních vzorků (*Obrázek 93*). Lze zde sledovat mírný otlak na materiálu kolem místa spoje od působení stripperu razníku (kapitola 2.2.2). V této oblasti taky došlo k deformačnímu zpevnění za studena, neboť materiál plechu okolo bodu spojení je vtahován dovnitř. Z bočního pohledu na vzorek je také vidět, že se spojovaný materiál během nýtování lehce prohnul. Dále je možno na bočním pohledu vidět, že hlava nýtu není v rovině s materiálem, ale přechuhuje. Z tohoto důvodu vznikla další sada pěti vzorků, kde byla použita vyšší lisovací síla.



Obrázek 93 Vytvořený spoj 4,3 bar (50kN)

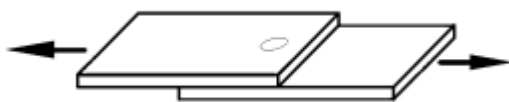
Pro další sadu pěti vzorků byl použit vyšší tlak 4,5 baru což odpovídalo lisovací síle 53,4 kN viz (*Tabulka 2*). Na vytvořených vzorcích (Obrázek 94) lze taktéž vidět otláčenou oblast, ve které došlo k deformačnímu zpevnění. Na bočním pohledu lze sledovat, že hlava nýtu už je zcela utopená a nevyčuhuje. Také je opět vidět prohnutí spojovaných plechů. Nýtování plechů probíhalo bez problémů. Mnou navržený nástroj a sestavený systém fungoval.



Obrázek 94 Vytvořené vzorky 4,5 bar (53,4kN)

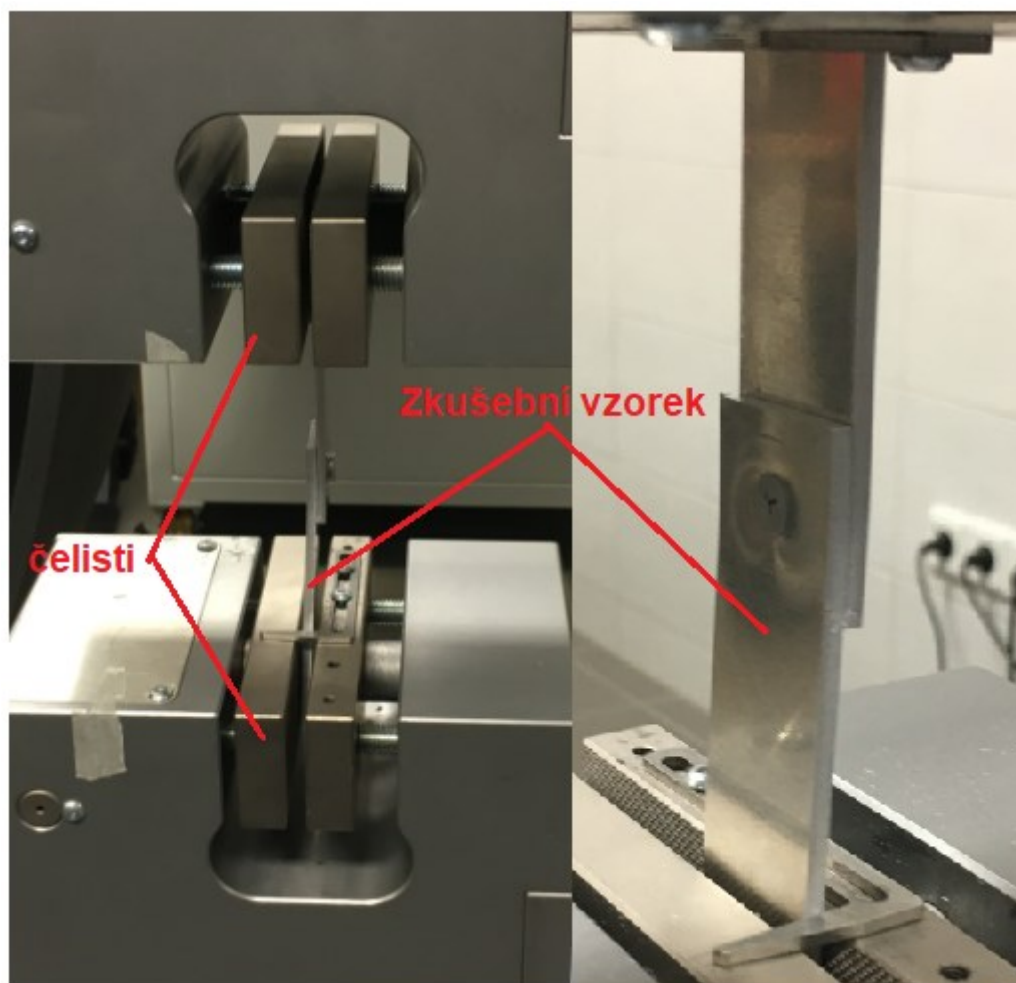
3.3 Zkouška ve smyku

Jakmile byly zhotoveny vzorky, byly podrobeny smykové zkoušce. Princip smykové zkoušky viz (Obrázek 95).



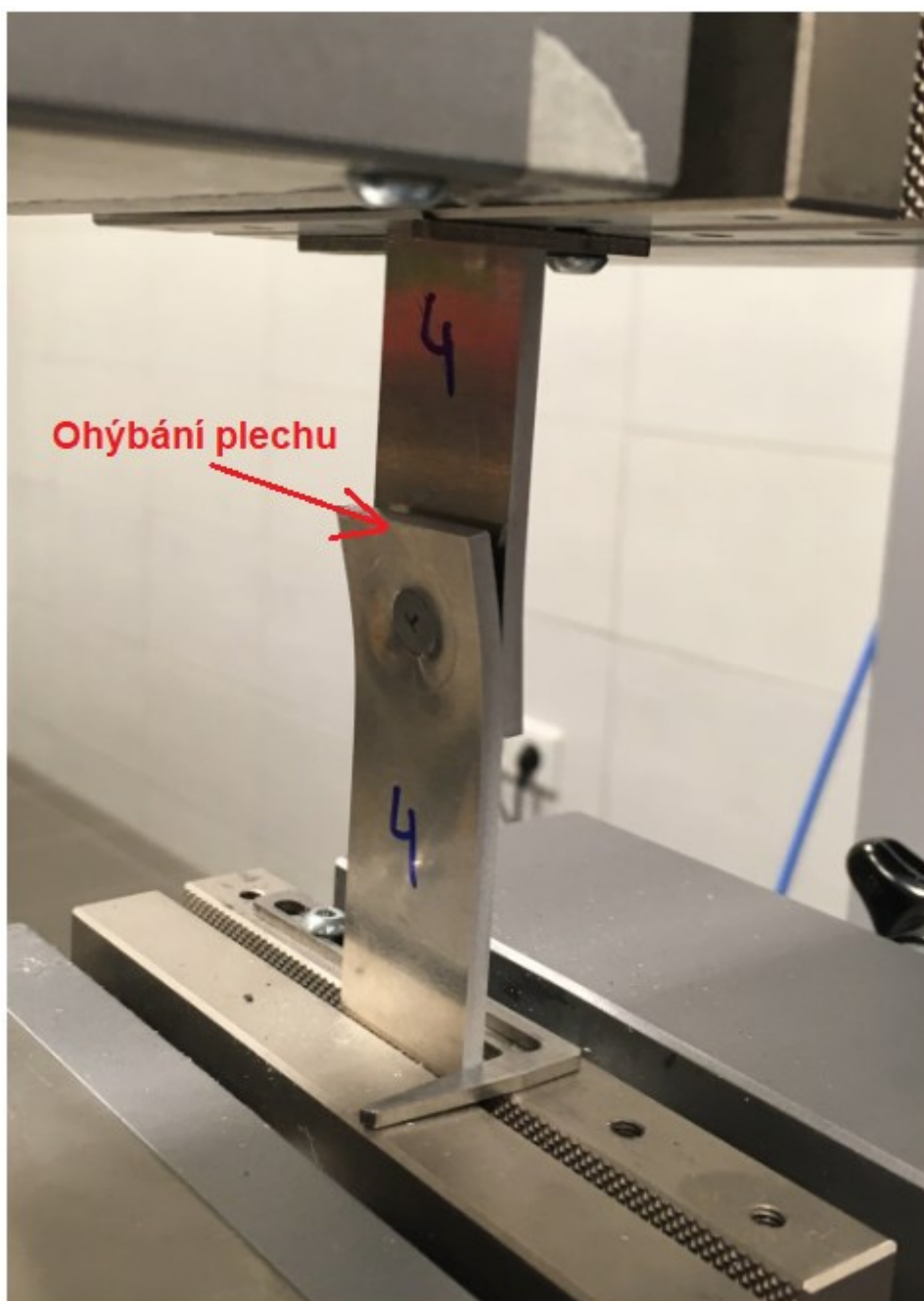
Obrázek 95 Princip zkoušky smykem [36]

Zkouška ve smyku probíhala na trhačím stroji Shimadzu AG – X plus 50kN na Katedře materiálů a technologií pro automobilový průmysl. Konce vzorků byly umístěny do čelistí trhačího stroje (**Obrázek 96**). Dle reportu od firmy TOX byla nastavena rychlost zatěžování na 10 mm/min.



Obrázek 96 Vzorek upnutý v čelistech trhačího stroje

Během zkoušky ve smyku docházelo k ohýbání plechů viz (**Obrázek 97**). Z čehož lze usoudit, že nedocházelo pouze ke smykovému namáhání spoje, ale ke kombinovanému složitému namáhání. Z čeho půjde těžko určit do jaké hodnoty silového namáhání byl spoj zatěžován pouze na smyk.

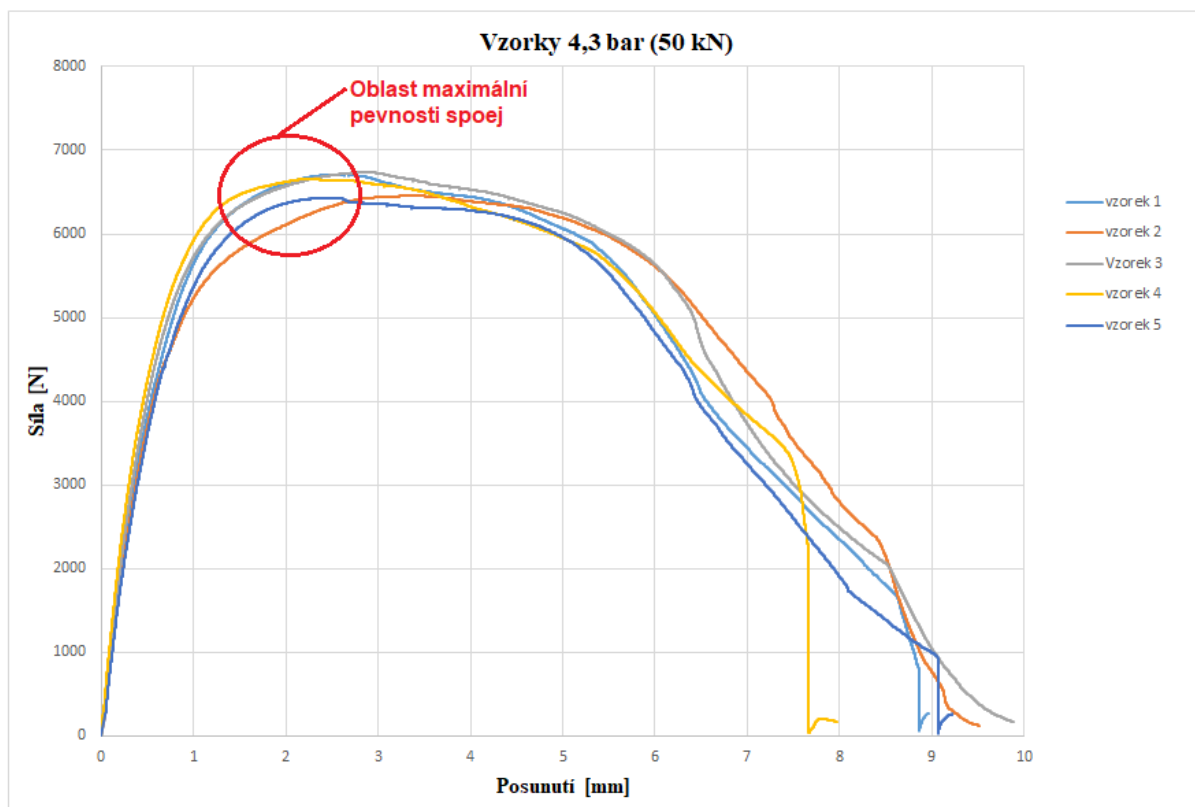


Obrázek 97 Ohýbání plechů během zkoušky smykem

3.3.1 Výsledky zkoušky ve smyku pro vzorky vytvořené lisovací silou 50 kN

Výsledek zkoušky ve smyku pro vzorky vytvořené lisovací silou 50 kN/4,3 bar lze vidět na (**Obrázek 98**). Zkouška probíhala až do úplného vytržení nýtu ze spoje. Z naměřených hodnot byl sestrojen graf v závislosti zatěžující síly na prodloužení (posunutí příčnicku stroje). Z jednotlivých křivek je zjevné, že hodnoty pevnosti jsou velice podobné u všech vzorků a měření nedosahovalo žádných větších odchylek. Mírně odlišný průběh vykazoval vzorek číslo 2. Maximální hodnoty byly naměřené těsně před tím, než došlo k vylopnutí nýtu

ze spodní vrstvy materiálu. Všechny vzorky dosáhly meze pevnosti ve smyku pohybující se okolo hodnot 6600 N.



Obrázek 98 Výsledky smykové zkoušky pro vzorky vytvořené lisovací silou 50kN

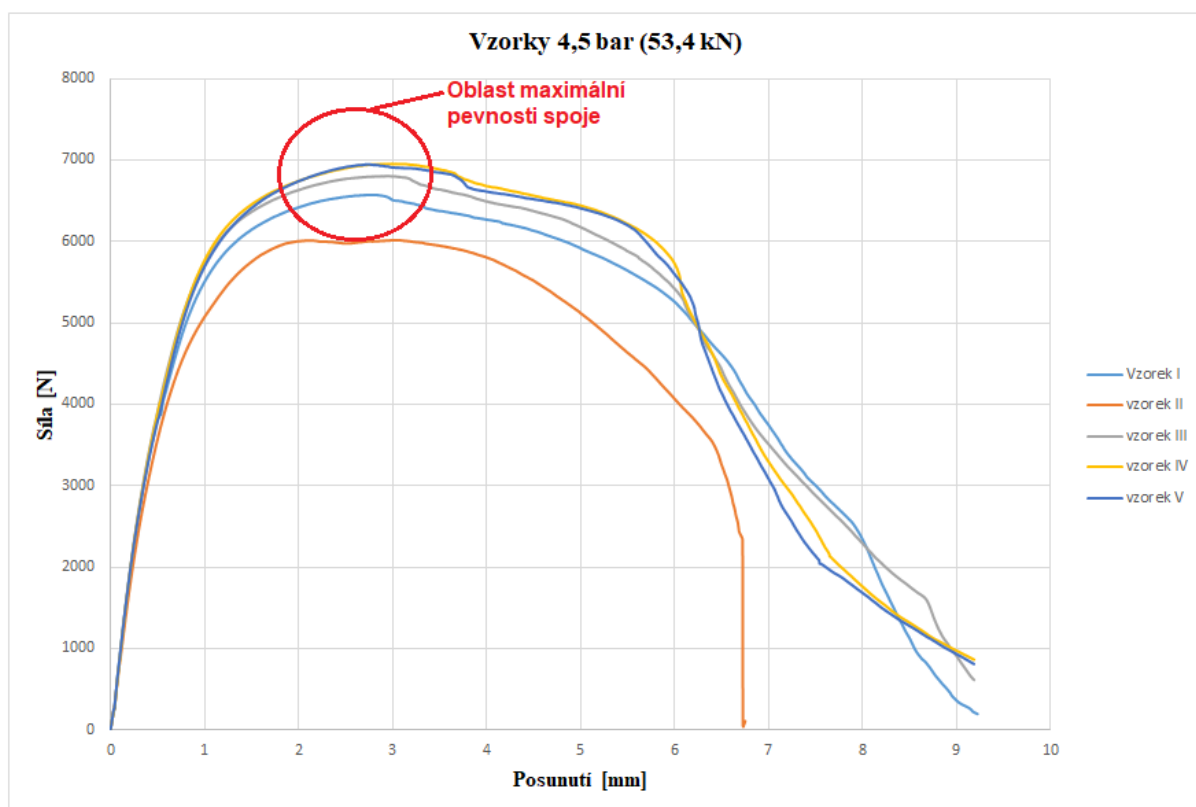
Výsledné hodnoty všech pěti vzorků, které byly vytvořeny lisovací silou 50kN jsou uvedeny v (**Tabulka 7**). Průměrná hodnota pevnosti, která byla naměřená při zkoušce smykem byla 6600 N se směrodatnou odchylkou 146 N při průměrném prodloužení 2,66 mm.

Tabulka 7 Výsledné hodnoty jednotlivých vzorků vytvořených lisovací silou 50kN/4,3 bar

Vzorek č.	Maximální síla [N]	Posunutí [mm]
1	6715	2,6
2	6457	3,34
3	6739	2,83
4	6661	2,24
5	6429	2,33
Průměrná hodnota	6600	2,66
Směrodatná odchylka	146	0,44

3.3.2 Výsledky zkoušky ve smyku pro vzorky vytvořené lisovací silou 53,4 kN

Výsledek zkoušky ve smyku pro vzorky vytvořené lisovací silou 53,4 kN/4,5 bar lze vidět na (**Obrázek 98**). Jako u předchozích zkoušek byl test prováděn až do úplného vytržení nýtu ze spoje. Z naměřených hodnot byl sestrojen graf v závislosti zatěžující síly na prodloužení (posunutí příčnicku stroje). Z jednotlivých křivek je zjevné, že hodnoty pevnosti jsou velice podobné u vzorku číslo 1, 3, 4, 5. Vzorek číslo 2 dosáhl hodnoty pouhých 6000 N. Tento pokles maximální hodnoty být způsobem mírně zhoršeným vycentrováním středu při nýtování. Nejvyšší pevnosti ve smyku dosáhl vzorek číslo 4 jehož hodnota byla 6953 N. Maximální hodnoty byly jako u předchozích vzorků naměřené těsně před tím, než došlo k vyloupnutí nýtu ze spodní vrstvy materiálu.



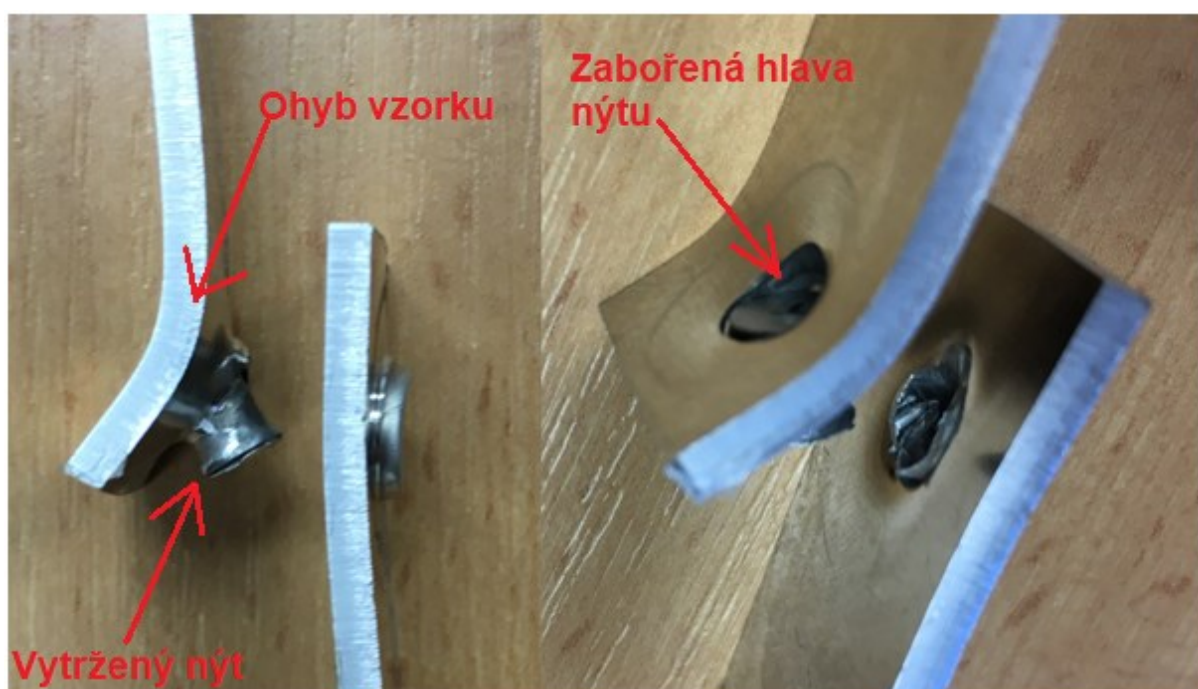
Obrázek 99 Výsledky smykové zkoušky pro vzorky vytvořené lisovací silou 53,4 kN

Výsledné hodnoty jednotlivých vzorků, které byly vytvořeny lisovací silou 53,4 kN/4,5 bar jsou uvedeny v (**Tabulka 8**). Průměrná hodnota pevnosti, která byla naměřená při zkoušce smykem byla 6658 N se směrodatnou odchylkou 390 N při průměrné hodnotě posunutí 2,86 mm.

Tabulka 8 Výsledné hodnoty jednotlivých vzorků vytvořených lisovací silou 53,4kN/4,5bar

Vzorek č.	Maximální síla [N]	Posunutí [mm]
1	6573	2,76
2	6016	2,99
3	6803	2,91
4	6953	2,95
5	6947	2,69
Průměrná hodnota	6658	2,86
Směrodatná odchylka	390	0,13

Podíváme-li se na vizuální stránku přetrženého vzorku viz (**Obrázek 100**), je možno vidět, že došlo k výraznému ohybu v oblasti spojení. Z tohoto ohybu je možno posoudit, že docházelo ke kombinovanému namáhání spoje jak ve smyku, tak v ohybu. Tudíž je těžké posoudit, do jaké hodnoty silového zatížení byl spoj zatěžován pouze na smyk a kdy začalo docházet ke kombinovanému namáhání. Dále je možné vidět zabořenou hlavu nýtu v materiálu plechu. K tomuto zaboření hlavy došlo také kvůli ohýbání vzorku, neboť největší ohyb je právě v místě, kde se začala hlava nýtu bořit do materiálu. Všechny přetržené vzorky vytvořené lisovací silou 50 kN nebo 53,4 kN, vypadaly téměř totožně.



Obrázek 100 Přetržený zkušební vzorek

3.3.3 Srovnání výsledků s reportem od firmy TOX

Nakonec porovnáme naše naměřené výsledky ze zkoušky smykem pro spoj vytvořený v materiálu EN AW 5754 H111 se zkouškou ve smykem pro materiál EN AW 5083 H111. Výsledky smykové zkoušky pro materiál EN AW 5083 H111 dodala v reportu firma TOX. Pevnost ve smyku dle TOXu pro materiál ENAW 5083 H111 byla 9200 N. [36] Materiál EN AW 5083 H111 má asi o 30% vyšší mechanické vlastnosti než materiál ENAW 5754 H111. Proto jsem čekal nižší hodnoty ve smyku, které jsem také dostal. Mnou dosažené průměrné výsledky byly 6600 N u vzorků vytvořených lisovací silou 50kN a 6658 u vzorků vytvořených lisovací silou 53,4 kN

4 Vyhodnocení a závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout konstrukční návrh univerzálních nýtovacích kleští pro nýtování polodutými nýty, které budou využity po spojování automobilových konstrukcí. Dále pak sestavit celý nýtovací systém pro nýtování polodutými nýty. Tohoto cíle se mi podařilo dosáhnout. Nýtovací systém je zkompleťován včetně elektro instalace pro ovládání elektromagnetického ventilu. Celý systém je plně funkční a je připraven k okamžitému použití.

Mnou navržené kleště jsou schopny nýtovat profilové konstrukce, ale také tenké plechy. Toho jsem dosáhl díky modulárnímu systému kleští. Poloha hydraulického válec může být polohována v kroku o 35 mm. Dále byla navržená podkladová podložka, která taktéž slouží k větší variabilitě navržených nýtovacích kleští, neboť kratší zdvih zaručí rychlejší cyklus spojování. Kleště jsou dostatečně masivní proto, aby byly schopny přenést lisovací síly do 76kN což je maximální lisovací síla použitého hydraulického válce HZL 07.101.100.00. Použitý materiál na výrobu kleští byla vysokopevnostní slitiny hliníku EN AW 7075 T651. Při zátěžové analýze dosahovaly hodnot podélné deformace v ose směru lisování Z 1,37 mm a naklonění nástrojové roviny 0,45°. Povolena hodnota naklonění roviny nástroje je 1°.

Testování vyrobených kleští proběhlo na vzorcích z materiálu slitiny hliníku EN AW 5754 H111. Použitá lisovací síla pro vytvoření spoje vycházela z reportu firmy TOX, který udával hodnotu 55kN pro nýtování materiálu EN AW 5083 H111, který vykazuje mírně vyšší mechanické vlastnosti než naše zkušební slitina. Kvůli mírně nižším mechanickým vlastnostem slitiny EN AW 5754 H111 byla nejprve lisovací síla nastavena na 50kN vycházející z nastaveného přírodního tlaku vzduchu 4,3bar. Vytvořenému spoji mírně vyčnívala hlava nýtu. Proto byla následně zvolena vyšší lisovací síla 53,4kN odpovídající přírodnímu tlaku vzduchu 4,5bar, která již byla ideální a hlava nýtu byla zarovnána s materiálem.

Při zkoušce ve smyku dosahovaly vzorky vytvořené lisovací silou 50kN průměrné meze pevnosti ve smyku 6600 N. Téměř totožnou průměrnou hodnotu (6658 N) vykazovaly vzorky vytvořené lisovací silou 53,4 kN. Lze tak usoudit, že mírné utopení hlavy nýtu v materiálu nemá významný vliv na pevnost spoje.

Do budoucna bych doporučil navrhnout rukojeť a optimalizovat dvoutlačítkové spínání systému dle nýtovaných konstrukcí nebo dle preferencí obsluhy. Možné řešení spínače je nožní spínání nebo spínač přímo na rameni kleští, popř. mikrospínač v rukojeti kleští. Systém řízení pneumatického ventilu, je již na jiný typ spínače připraven, Také vzhledem k hmotnosti

kleští s pracovním válcem 36 kg by bylo vhodné zakoupit balancer, na kterém budou kleště zavěšeny, a zaručí jednodušší manipulaci při vytváření spoje. Možný balancer, který by vyhovoval je od firmy Tecna s označením 9366/Heavy.45 s nosností 35-45 kg. Při jeho vlastní hmotnosti 12 kg a hmotnosti kleští 36 je možno balancer připevnit přímo ke stropu nebo jinou konstrukci.

Seznam použité literatury

- [1] Přednost lehkých karoserií v automobilovém průmyslu — INFOCUBE s.r.o.. [online]. Copyright © 2019 infocube s.r.o.. All rights reserved. [cit. 13.01.2021]. Dostupné z: <https://infocube.cz/cs/prednost-lehkych-karoserii-v-automobilovem-prumyslu/>
- [2] Lehké konstrukce karoserií osobních automobilů. Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum [online]. Copyright © 2021 www.mmspektrum.com [cit. 13.01.2021]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/lehke-konstrukce-karoserii-osobnich-automobilu.html>
- [3] Metody spojování využívající principy plastické deformace. Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum [online]. Copyright © 2021 www.mmspektrum.com [cit. 13.01.2021]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/metody-spojovani-vyuzivajici-principy-plasticke-deformace.html>
- [4] R. Kříž a kol. Stavba a Provoz strojů strojů I. SNTL – Nakladatelství technické literatury. 1977
- [5] BRATKOVÁ, O. N. Technologie strojírenské výroby. Díl I, Montáž strojů, svařování, nýtování. Praha: Průmyslové vydavatelství, 1952. Strojírenství, sv. 4.
- [6] Self-pierce riveting systems RIVSET® | Böllhoff. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © [cit. 13.01.2021]. Dostupné z: <https://www.boellhoff.com/gb-en/products-and-services/assembly-technology/self-pierce-riveting-rivset.php>
- [7] Polodutý nýt | TOX® PRESSOTECHNIK. Jednička na trhu pohonů a technologií pro spojování plechů | TOX® PRESSOTECHNIK [online]. Copyright ©TOX [cit. 13.01.2021]. Dostupné z: <https://cz.tox-pressotechnik.com/aplikace/spojovani-s-prvky/poloduty-nyt/>
- [8] Systémy pro spojování s prvky | TOX® PRESSOTECHNIK. Jednička na trhu pohonů a technologií pro spojování plechů | TOX® PRESSOTECHNIK [online]. Copyright ©TOX [cit. 13.01.2021]. Dostupné z: <https://cz.tox-pressotechnik.com/aplikace/spojovani-s-prvky/systemy-pro-spojovani-s-prvky/>
- [9] ClinchRivet® | TOX® PRESSOTECHNIK. Jednička na trhu pohonů a technologií pro spojování plechů | TOX® PRESSOTECHNIK [online]. Copyright ©TOX [cit.

- 13.01.2021]. Dostupné z: <https://cz.tox-pressotechnik.com/aplikace/spojovani-s-prvky/clinchrivet/>
- [10] Plný lisovací nýt | TOX® PRESSOTECHNIK. Jednička na trhu pohonů a technologií pro spojování plechů | TOX® PRESSOTECHNIK [online]. Copyright ©TOX [cit. 13.01.2021]. Dostupné z: <https://cz.tox-pressotechnik.com/aplikace/spojovani-s-prvky/plny-lisovaci-nyt/>
- [11] High-speed joining RIVTAC® | Böllhoff. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © [cit. 13.01.2021]. Dostupné z: <https://www.boellhoff.com/gb-en/products-and-services/special-fasteners/high-speed-joining-rivtac.php>
- [12] Clinching přináší možnosti spojování plechů za studena. Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum [online]. Copyright © 2021 www.mmspektrum.com [cit. 13.01.2021]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/clinching-prinasi-moznosti-spojovani-plechu-za-studena.html>
- [13] Moderní způsoby spojování dílů karoserií. Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum [online]. Copyright © 2021 www.mmspektrum.com [cit. 13.01.2021]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-zpusoby-spojovani-dilu-karoserii.html>
- [14] Self-piercing Riveting with Inner Flange Pipe Rivet - ScienceDirect. ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books. [online]. Copyright © 2014 The Authors. Published by Elsevier Ltd. [cit. 14.01.2021]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814015574>
- [15] BETZER, Pentaflow, Hole a thread forming screw for thin sheet metal, brochure, Online: <http://www.betzer.com/fileadmin/Downloads/Broschueren/pentaflow.pdf>
- [16] Self-tapping fasteners for thin sheet materials QUICK FLOW® | Böllhoff. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © [cit. 14.01.2021]. Dostupné z: <https://www.boellhoff.com/de-en/products-and-services/special-fasteners/self-tapping-fasten-quick-flow.php>
- [17] ARISTOV, V. M. Technologie strojírenské výroby. Díl III, Kování, lisování, metalokeramická výroba. Praha: Průmyslové vydavatelství, 1952. Strojírnoství, sv. 6.

- [18] Plný lisovací nýt | TOX® PRESSOTECHNIK. Jednička na trhu pohonů a technologií pro spojování plechů | TOX® PRESSOTECHNIK [online]. Copyright ©TOX [cit. 14.01.2021]. Dostupné z: <https://cz.tox-pressotechnik.com/aplikace/spojovani-s-prvky/plny-lisovaci-nyt/>
- [19] Xiaocong He, Ian Pearson, Ken Young, Self-pierce riveting for sheet materials: State of the art, Journal of Materials Processing Technology, Volume 199, Issues 1–3, 2008, Pages 27-36, ISSN 0924-0136, [cit. 15.01.2021] Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013607009946>
- [20] P.O. Bouchard, T. Laurent, L. Tollier, Numerical modeling of self-pierce riveting From riveting process modeling down to structural analysis, Journal of Materials Processing Technology, Volume 202, Issues 1–3, 2008, Pages 290-300, ISSN 0924-0136, [cit. 15.01.2021] Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013607008771>
- [21] Lisovací nýtovací technika pro dokonalé spoje RIVSET® | Böllhoff. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © [cit. 15.01.2021]. Dostupné z: <https://www.boellhoff.com/cz-cs/vyrobky-a-sluzby/specialni-spojovaci-prvky/zalisovavaci-nyty-rivset.php>
- [22] Ruční kleště | TOX® PRESSOTECHNIK. Jednička na trhu pohonů a technologií pro spojování plechů | TOX® PRESSOTECHNIK [online]. Copyright ©TOX [cit. 17.01.2021]. Dostupné z: <https://cz.tox-pressotechnik.com/vyrobky/kleste/rucni-kleste/>
- [23] Robotické a stacionární kleště | TOX® PRESSOTECHNIK. Jednička na trhu pohonů a technologií pro spojování plechů | TOX® PRESSOTECHNIK [online]. Copyright ©TOX [cit. 17.01.2021]. Dostupné z: <https://cz.tox-pressotechnik.com/vyrobky/kleste/roboticke-a-stacionarni-kleste/>
- [24] Pneumaticko-hydraulické pohony – TOX®-Powerpackage | TOX® PRESSOTECHNIK | TOX® PRESSOTECHNIK. Jednička na trhu pohonů a technologií pro spojování plechů | TOX® PRESSOTECHNIK [online]. Copyright ©TOX [cit. 17.01.2021]. Dostupné z: <https://cz.tox-pressotechnik.com/vyrobky/pohony/pneumaticko-hydraulicke-pohony/prehled-toxr-powerpackage/>

- [25] Semi-hollow self-piercing rivets - VETR. VETR - Home [online]. Dostupné z: <https://www.invetr.com/body-and-structure/semi-hollow-self-piercing-rivets>
- [26] Clinchrivet as an alternative method to resistance spot welding. ResearchGate | Find and share research [online]. Copyright © 2017, Bialystok University of Technology. All rights reserved. [cit. 22.03.2021]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/269473738_Clinchrivet_as_an_alternative_method_to_resistance_spot_welding
- [27] Self-piercing riveting-a review. ResearchGate | Find and share research [online]. Copyright © 2008 [cit. 28.03.2021]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/315467318_Self-piercing_riveting-a_review
- [28] Jednička na trhu pohonů a technologií pro spojování plechů | TOX® PRESSOTECHNIK [online]. Copyright © [cit. 07.04.2021]. Dostupné z: https://cz.tox-pressotechnik.com/assets/countries/EN/pdf/TOX_Riveting-Technology_83_en.pdf
- [29] Boron Steel - an overview | ScienceDirect Topics. ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books. [online]. Copyright © [cit. 07.04.2021]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/boron-steel>
- [30] Self-piercing riveting connections using aluminium rivets - ScienceDirect. ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books. [online]. Copyright © 2009 Elsevier Ltd. All rights reserved. [cit. 07.04.2021]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020768309003965>
- [31] TOX®-Joining Technology, Clinching | TOX® PRESSOTECHNIK. Jednička na trhu pohonů a technologií pro spojování plechů | TOX® PRESSOTECHNIK [online]. Copyright © TOX [cit. 07.04.2021]. Dostupné z: <https://cz.tox-pressotechnik.com/aplikace/klincovani/spojovani-technologie-tox/>
- [32] TOX®-Design and installation guideline| TOX® PRESSOTECHNIK [online]. Copyright © [cit. 15.04.2021]. Dostupné z: https://cz.tox-pressotechnik.com/assets/countries/EN/om/Powerpackage/TOX_Manual_Powerpackage_line-X_en.pdf

- [33] FESTO® Ventily dle norem ISO 5599-1 [online]. Copyright ©6 [cit. 17.04.2021]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/ISO5599VSVA_CZ.PDF
- [34] 7075-T651 Aluminum: MakeItFrom.com: Material Properties Database [online]. [cit. 17.04.2021] Dostupné z: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/7075-T651-Aluminum>
- [35] GLEICH ALUMINIUM® Experti na hliník, EN AW 7075, [online]. Copyright © [cit. 17.04.2021]. Dostupné z: https://gleich.de/files/en_aw_7075.en.pdf
- [36] TOX® PRESSOTECHNIK: Test Report: 18850016.00DE. 2018 [cit. 17.04.2021]
- [37] TOX® PRESSOTECHNIK: Test Report: 18850016.01DE. 2018 [cit. 17.04.2021]
- [38] GLEICH ALUMINIUM® Experti na hliník, EN AW 5754, [online]. Copyright © [cit. 29.04.2021]. Dostupné z: https://gleich.de/cz/wp-content/uploads/sites/8/2016/07/cz_en_aw_5754.pdf
- [39] GLEICH ALUMINIUM® Experti na hliník, EN AW 5083, [online]. Copyright © [cit. 29.04.2021]. Dostupné z: https://gleich.de/cz/wp-content/uploads/sites/8/2016/07/cz_en_aw_5083.pdf
- [40] CZ FERRO STEEL - hutní materiál, ocelové trubky kalibrované, tažené, uzavřené profily [online], ocel ČSN 11523. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-11523.pdf>

Seznam Obrázků

Obrázek 1 Nýtovaná karoserie vozidla [27]	1
Obrázek 2 Druhy a typy spojů karoserie na Audi TT 3. generace, převzato [2]	2
Obrázek 3 Materiálové složení konstrukčních prvků karoserie Audi A6, převzato [2]	3
Obrázek 4 Rivtac – tvorba spoje, převzato [13]	5
Obrázek 5 Rivtac spoj, převzato [13]	5
Obrázek 6 Quick Flow šroub, převzato [15]	6
Obrázek 7 Quick Flow – tvorba spoje, převzato [16]	7
Obrázek 8 Proces tvorby clinchovaného spoje a jeho reálná podoba v průběhu, převzato [31]	9
Obrázek 9 Clinchovaný spoj z obou stran, převzato [31]	10
Obrázek 10 Clinchované spoje na vozidle Mercedes, převzato [29]	11
Obrázek 11 Plné nýty [10]	12
Obrázek 12 Plný nýt – tvorba spoje, převzato [17]	12
Obrázek 13 Využití plných nýtů v konstrukci otvírání střešních oken [10]	13
Obrázek 14 a) Spoj vytvořený polodutým nýtem b) spoj vytvořený plným nýtem, převzato [6]	13
Obrázek 15 Válcový nýt pro ClinchRiveting a spodní matrice, převzato [9]	14
Obrázek 16 ClinchRivet – tvorba spoje [9]	15
Obrázek 17 ClinchRivet spoj, převzato [9]	15
Obrázek 18 Porovnání ClinchRivet s polodutým nýtem, převzato [9]	16
Obrázek 19 Polodutý nýt a řez vytvořeného spoje, převzato [6]	17
Obrázek 20 Poloduté nýty, převzato [6]	19
Obrázek 21 Tvary nýtu, jejich označení od firmy Bollhoff, převzato [6]	19
Obrázek 22 Tvorba spoje polodutým nýtem, převzato [20]	20
Obrázek 23 Druhy spodních razníků (matic), převzato [19]	21
Obrázek 24 Nevyhovující spoje, převzato [29]	21
Obrázek 25 Nýtování panelu karosérie, převzato [29]	22
Obrázek 26 Porovnání metod ClinchRivet, polodutý nýt a plný nýt, převzato [28]	23
Obrázek 27 Části pracovního systému, převzato [23]	24
Obrázek 28 Stavebnicový systém, převzato [23]	25
Obrázek 29 Maximální vychýlení nástroje, převzato [22]	25
Obrázek 30 Mini ruční kleště TOX, převzato [22]	26
Obrázek 31 Rozměry C-rámu mini kleští TOX, převzato [22]	27

Obrázek 32 Standartní ruční kleště TOX, převzato [22].....	28
Obrázek 33 Rozměry standartních ručních kleští, převzato [22]	28
Obrázek 34 Robotické stavebnicové kleště TOX, převzato [23]	29
Obrázek 35 Rozměry robotických kleští, převzato [23]	30
Obrázek 36 Části nástroje, převzato [31]	31
Obrázek 37 Celistvá matrice TOX, převzato [33].....	31
Obrázek 38 Výměnný systém TOX, převzato [32].....	32
Obrázek 39 Rozměry držáku matrice [32]	33
Obrázek 40 Razník TOX a jeho rozměry, převzato [33]	33
Obrázek 41 Stripper a jeho rozměry, převzato [33]	34
Obrázek 42 Pneumaticko-hydraulický pohon, [24]	35
Obrázek 43 Části pneumaticko-hydraulického pohonu, převzato [32].....	36
Obrázek 44 Výchozí fáze pracovního cyklu, převzato [32]	37
Obrázek 45 Fáze rychlého přiblížení, převzato [32]	38
Obrázek 46 Fáze silového zdvihu, převzato [32]	39
Obrázek 47 Fáze zpětného zdvihu, převzato [32]	40
Obrázek 48 Vnější prvky pneumaticko-hydraulického pohonu X-ES, upraveno [32]	41
Obrázek 49 Rozměry hlavního pneumaticko-hydraulického válce TOX X-ES [24].....	42
Obrázek 50 Distributor vzduchu, upraveno [32].....	43
Obrázek 51 Elektromagnetický ventil Festo přívodu vzduchu	44
Obrázek 52 Schéma Hydrosplit spojky, upraveno [32]	45
Obrázek 53 Pracovní hydraulický válec HZL, upraveno [24]	46
Obrázek 54 Rozměry pracovního válce HZL [24]	47
Obrázek 55 Spojovací vysokotlaká hadice, převzato [32]	48
Obrázek 56 Regulační ventil tlaku vzduchu, upraveno [32]	48
Obrázek 57 Škrťací ventil X, převzato [32]	49
Obrázek 58 Indikátor hladiny oleje a vsuvka pro jeho doplnění [32]	50
Obrázek 59 Propojení pracovního systému.....	50
Obrázek 60 Diagram zapojení, převzato [24]	51
Obrázek 61 Tloušťka C-rámu kleští.....	52
Obrázek 62 Rozměry hrdla C-rámu kleští.....	53
Obrázek 63 Maximální rozměry profilů o tloušťce stěny 3 mm	54
Obrázek 64 Polohování kleští	55
Obrázek 65 Rastr děr po obvodu C-rámu.....	56

Obrázek 66 Rozložený systém nýtovacích kleští	57
Obrázek 67 Poloha síly a vazby displacement (okrajové podmínky)	59
Obrázek 68 Deformace v ose Z	60
Obrázek 69 Deformace roviny nástroje.....	61
Obrázek 70 Maximální napětí C-rámu	61
Obrázek 71 Napětí působící na žebra	62
Obrázek 72 Model se ztenčeným prostředkem	63
Obrázek 73 Model se ztenčeným středem a odebraným prostředkem	63
Obrázek 74 Model s odebraným středem a malým vybráním stran.....	64
Obrázek 75 Model s křížovému žebry	64
Obrázek 76 Model s žebrováním od rádiusu hrdla	65
Obrázek 77 Displacement vazba a silové zatížení na mezikusu	65
Obrázek 78 Celková deformace mezikusu	66
Obrázek 79 Nejvyšší naměřené napětí na mezikusu	66
Obrázek 80 Základní fyzikální a mechanické vlastnosti ENAW 7075 [35]	67
Obrázek 81 Deformace ve směru osy Z	68
Obrázek 82 Deformace roviny nástroje.....	69
Obrázek 83 Maximální napětí C-rámu	69
Obrázek 84 Napětí působící na žebra	70
Obrázek 85 Celková deformace mezikusu	71
Obrázek 86 Hodnoty napětí při silovém zatížení mezikusu	71
Obrázek 87 Obrábění C-rámu	73
Obrázek 88 Dokončovací pracovní nástroje	74
Obrázek 89 Kompletní nýtovací systém	76
Obrázek 90 Hmotnos kleští s hydraulickým pracovním válcem.....	77
Obrázek 91 Rozměry zhotovených vzorků	78
Obrázek 92 TOX doporučené hodnoty [37].....	79
Obrázek 93 Vytvořený spoj 4,3 bar (50kN)	80
Obrázek 94 Vytvořené vzorky 4,5 bar (53,4kN).....	81
Obrázek 95 Princip zkoušky smykem [36]	82
Obrázek 96 Vzorek upnutý v čelistech trhačího stroje.....	82
Obrázek 97 Ohýbání plechů během zkoušky smykem	83
Obrázek 98 Výsledky smykové zkoušky pro vzorky vytvořené lisovací silou 50kN.....	84
Obrázek 99 Výsledky smykové zkoušky pro vzorky vytvořené lisovací silou 53,4 kN.....	85

Obrázek 100 Přetržený zkušební vzorek	86
---	----

Seznam Tabulek

Tabulka 1 Kvalita vzduchu [32].....	40
Tabulka 2 Základní tabulka lisovacího tlaku pracovního válce HZL v kombinaci s multiplikátorem tlaku X-ES [32]	49
Tabulka 3 Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli ČSN 11523 [40].....	58
Tabulka 4 Chemické složení ENAW 7075 [34].....	67
Tabulka 5 Souhrn naměřených hodnot.....	72
Tabulka 6 Mechanické vlastnosti EN AW 5754 H111 a EN AW 5083 H111 [38, 39].....	78
Tabulka 7 Výsledné hodnoty jednotlivých vzorků vytvořených lisovací silou 50kN/4,3 bar .	84
Tabulka 8 Výsledné hodnoty jednotlivých vzorků vytvořených lisovací silou 53,4kN/4,5bar	86

Seznam Příloh

Jméno součásti	Číslo výkresu
Sestava kleští	01-03-04/2021
C-rám	01/03-04/2021
Mezikus	02/03-04/2021
Podložka	03/03-04/2021